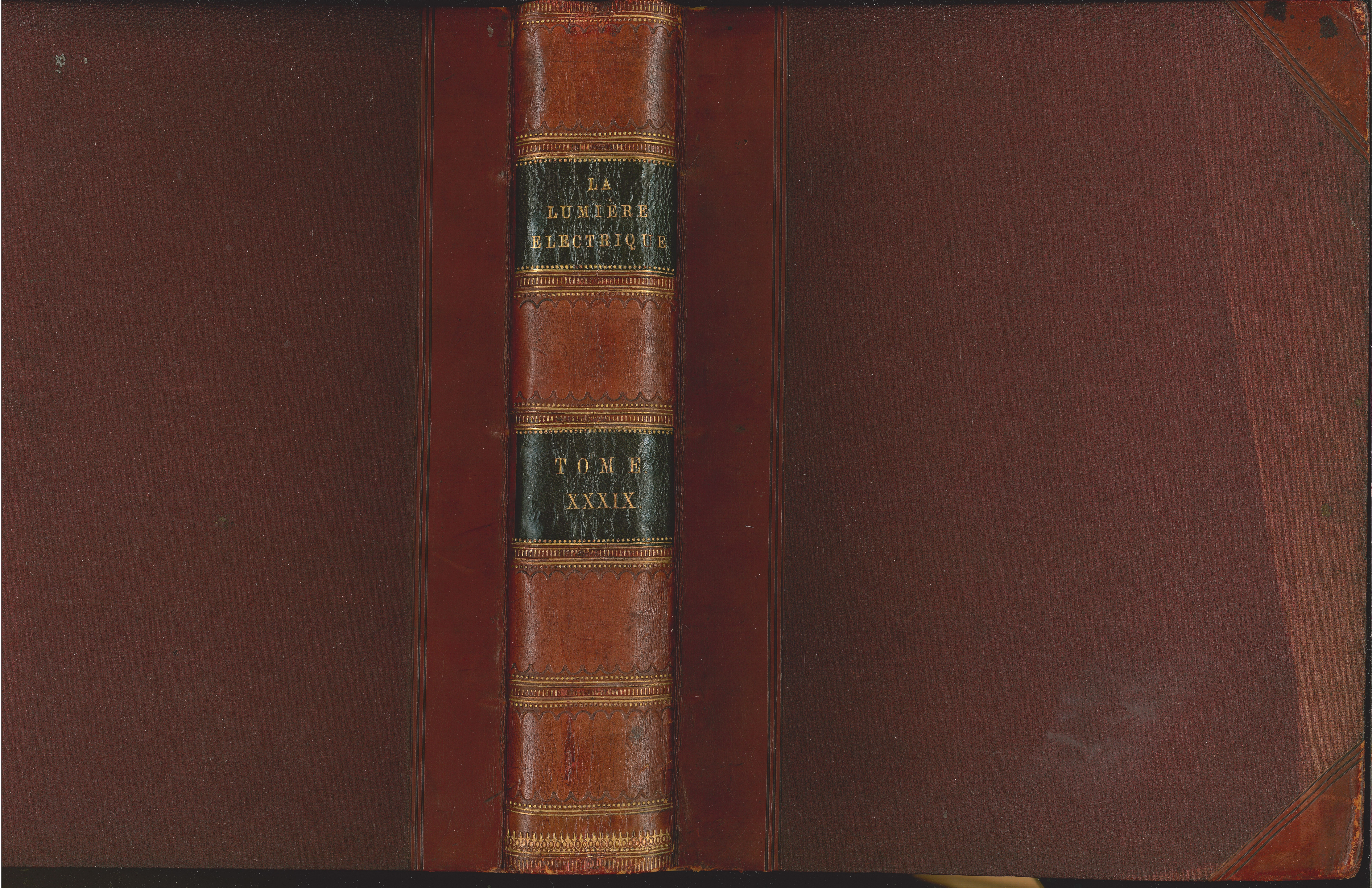

LA
LUMIÈRE
ÉLECTRIQUE
TOME
XXXIX

sait le fond en deux compartiments égaux dans chacun desquels reposait une feuille de plomb ou de charbon, recouverte l'une de plomb spongieux, l'autre d'un composé de plomb, un oxyde, par exemple. Des conducteurs étaient attachés à chacune des feuilles et formaient ainsi un élément complet.

Au lieu de toujours employer des feuilles de plomb ou de charbon, de Khotinsky employait le zinc comme négatif; ou bien les deux compartiments de la batterie étaient recouverts d'une couche de mercure sur lequel une solution de chlorure d'ammonium ou de sulfate de magnésie remplissait le rôle de liquide excitateur.

Avec une cathode en zinc, il employait tantôt du peroxyde de plomb, avec un électrolyte d'eau et d'acide sulfurique, tantôt du plomb dans de l'acide sulfurique.

Il changea ensuite son système et se servit d'une boîte en bois doublée de plomb qui servait d'électrode négative; quant aux électrodes positives, elles se composaient de cadres ou supports en plomb remplis d'oxydes métalliques spongieux ou d'oxyde de plomb.

Les avantages que de Khotinsky attribuait à ses accumulateurs étaient que ses plaques ne s'écaillaient pas, qu'elles étaient *disposées horizontalement* et que, par conséquent, il n'y avait pas de court circuit à redouter. Selon lui, plus on se servait de ses accumulateurs, plus leur capacité augmentait au lieu de diminuer.

Dans ses prospectus anglais, il garantit les rendements suivants, à condition que la charge et la décharge ne dépassent pas $\frac{1}{2}$ ampère par livre d'électrode.

Capacité en foot-pounds par livre d'électrodes : 20 000 foot-pounds ;

Rendement en ampères-heures : 90 o/o;

Rendement en watts : 75 o/o;

Un débit de $\frac{1}{2}$ ampère par livre n'est pas de nature à fatiguer beaucoup les plaques.

Ces accumulateurs furent essayés en 1865, par M. Albert Ritter von Obermayer, professeur à l'Académie technique de Vienne; voici un résumé de son rapport.

Ces accumulateurs contiennent 8 à 9 kilogrammes d'électrodes chacun.

Les réceptacles ont été remplis de 7 litres d'une solution diluée d'acide sulfurique 1,166 gr. sp.

Ils ont été chargés trois fois et déchargés jusqu'à ce que la chute du potentiel ait atteint 10 o/o.

Le 13 novembre 1885, ils ont eu un courant de charge de 9 à 7,6 ampères, jusqu'à ce qu'ils aient reçu 71,44 ampères-heure; durant cette charge, l'énergie absorbée a été de 816,8 watt-heures.

La décharge a commencé le 14 novembre avec un débit de 8,15 ampères qui, à la fin de l'expérience, tomba à 7,01.

Les accumulateurs par conséquent, ont rendu 64,26 ampères-heure et 607,3 watt-heures.

La chute du potentiel à la moitié de la décharge était de 2 o/o, aux deux tiers de la décharge de 3 o/o et aux neuf dixièmes de 6 o/o.

La densité de la solution était tombée de 1,166 à 1,148 gr. sp.

La résistance des accumulateurs s'était élevée de 0,07 ohm à 0,09.

La résistance de l'accumulateur est de 0,014 et de 0,018.

Le rendement de l'accumulateur a été par conséquent de 90 o/o des ampères-heure qu'il a reçus et de 64,3 o/o de l'énergie absorbée.

Pendant l'expérience, des diagrammes ont été pris au moyen d'appareils photographiques spéciaux introduits dans le circuit de charge et de décharge, et ils montrent qu'il ne s'est produit aucune irrégularité dans le courant.

Un autre rapport sur les expériences faites par le professeur Dietrich à l'usine électrotechnique de Cannstatt nous donne les renseignements que voici :

Les essais portaient sur six accumulateurs.

Le poids moyen des accumulateurs était de :

	Kilog.
Électrolyte	5,66
Plaques négatives	4,47
Plaques positives	5,93
Boîte	5,57
Poids total	21,63
Poids du plomb	10,40

Les six accumulateurs furent déchargés avec un débit de 8 ampères jusqu'à ce que la différence totale du potentiel fût tombée à 9 volts (= 1,5 volt par élément).

Le lendemain, la charge des six accumulateurs en série commença avec un courant uniforme de 9,75 ampères; elle dura 9 heures 19, et pendant ce temps la différence de potentiel aux bornes

s'éleva de 13,30 volts à 15,04 volts = 2,5 volts par accumulateur.

Deux des accumulateurs qui donnaient le plus de volts furent découplés parce qu'on les considérait comme chargés et la charge des quatre autres continua pendant quarante et une minutes, jusqu'à ce qu'ils eussent atteint 2,5 volts par accumulateur.

La charge totale était de 1300 watts-heures.

Après un repos de trente-sept heures, la décharge commença avec un débit de 7,85 ampères elle dura 10,33 heures.

Le voltage tomba de 11,32 volts (1,89 volt par élément) à 9,81 volts (= 1,63 volt par élément).

Les deux accumulateurs qui avaient le voltage le plus bas (1,50 volt et 1,20 volt) furent retirés du circuit et les quatre autres déchargés pendant vingt-cinq minutes de plus, jusqu'à ce que la moyenne fût de 1,76 volt.

La décharge a donné 927 watts-heures et le rendement a été de 71,3 o/o.

La décharge des quatre autres accumulateurs continua pendant soixante-dix minutes, jusqu'à ce que la chute du potentiel eût atteint 1,63 volt.

La décharge totale représentait 992 watts-heures.

Le rendement total est donc de 76,3 o/o.

Par conséquent on a eu 927 watts-heures d'un poids total de près de 130 kilos de batterie.

	Kilog.
Électrodes	62,4
Électrolyte	34,0
Batterie, tout compris	129,8

ce qui représente par kilogramme

	Watts-heures
Électrodes	14,86
Électrolyte	9,62
Batterie, tout compris	7,14

et par conséquent, le courant de charge était de 0,94 ampère par kilogr. d'électrodes, et 0,61 par kilogr. d'électrodes et de liquide, et le courant de décharge était de 0,75 ampère par kilogr. d'électrodes et de 0,49 ampères par kilogr. d'électrodes et de liquide.

Je ne crois pas utile de donner la fin de ce rapport sur des accumulateurs qui ne peuvent, sous aucun point de vue, être considérés comme industriels.

E. ANDREOLI.

(*A suivre.*)

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Ozoniseur Villon.

Il y a quelques mois, M. Villon a songé à appliquer l'ozone au blanchiment industriel, en particulier au blanchiment de la pâte à papier.

Nous décrivons aujourd'hui l'ozoniseur employé à ses essais. Il se compose d'une caisse A A (fig. 1 et 2) en cuivre ou en zinc, recouverte intérieurement d'un vernis à la gomme laque, mêlée d'un peu de paraffine pour protéger le métal contre l'action corrosive de l'ozone. Le vernis pourrait

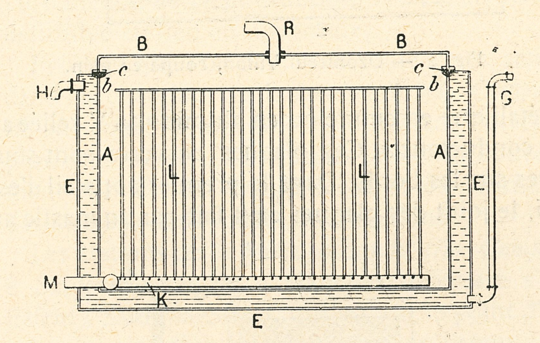


Fig 1. — Ozoniseur Villon, coupe verticale

être remplacé par un émail convenable. La caisse est fermée par un couvercle B B s'emboîtant dans une rainure C C dans laquelle on coule de la paraffine fondue qu'on laisse refroidir, de façon à avoir une fermeture étanche.

Cette caisse est entourée de toutes parts, sauf sur le couvercle, d'une double enveloppe E E dans laquelle circule constamment de l'eau froide arrivant par le tube C et sortant par le tube H. Des chicanes convenablement disposées obligent l'eau froide à circuler autour de la caisse. A la place de l'eau froide, il est avantageux de se servir d'un liquide incongelable venant d'une machine frigorifique et maintenant la caisse à une température de — 5°.

Dans le fond de la caisse se trouvent des tubes en poterie K K K disposés comme sur les figures 1 et 2 et percés de trous. L'air ou l'oxygène arrive par le tube M et se distribue par les tubes K dans toute la caisse. Au-dessus des tubes K reposent verticalement les plateaux L maintenus par de

simples tenons placés en haut et en bas sur les côtés de la caisse. Ces plateaux ne sont pas fixés ; on peut les enlever un à un ; ils sont distants de 4 à 5 millimètres les uns des autres.

La figure 3 montre la disposition de ces plateaux, constitués par deux plaques de verre carrées L, entre lesquelles se trouve emprisonnée une toile

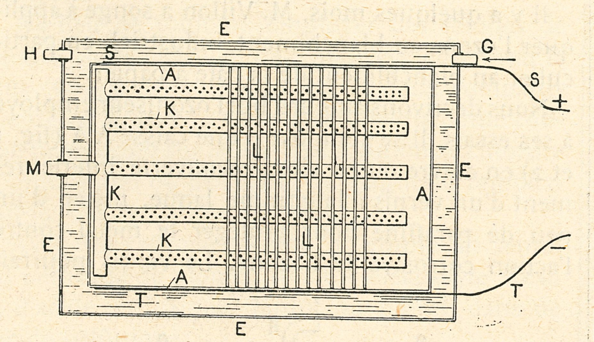


Fig. 2. — Ozoniseur Villon, coupe en plan.

métallique en cuivre ou en aluminium V reliée au fil conducteur *a*. Ces plaques de verre sont soudées sur les bords. Dans le premier appareil d'essai, le joint des plaques était fait par un mastic au

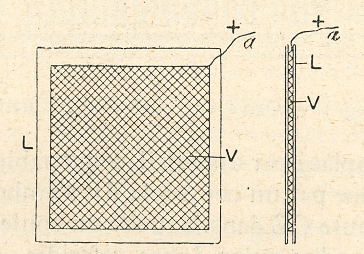


Fig. 3. — Détail d'un plateau.

soufre recouvert de gomme laque. Lorsque tous les plateaux sont en place, on dispose au-dessus une ou plusieurs plaques de verre perforées *bb* dans le but d'accroître un peu la pression des gaz qui circulent entre les plateaux et de bien mélanger ces gaz avant leur sortie par le tube R.

Tous les plateaux impairs communiquent par leur conducteur *a* au conducteur général S, en relation avec le pôle positif : les plateaux pairs sont reliés au pôle négatif.

Les plateaux remplissant toute la caisse l'effluve peut jaillir partout.

On peut, pour augmenter la teneur en ozone, disposer deux ou trois ozoniseurs à la suite les uns des autres et faire circuler l'oxygène successivement dans les trois appareils.

L'oxygène est desséché sur la chaux vive et refroidi avant d'entrer dans l'ozoniseur.

L'appareil ainsi disposé est de construction et d'entretien faciles.

Avec deux caisses de 75 centimètres de long, 50 centimètres de haut et 50 centimètres de large, renfermant chacune 55 plateaux, M. Villon peut produire 150 mètres cubes d'oxygène ozoné à 12 o/o d'ozone.

A. R.

L'électricité en Angleterre en 1891.

Éclairage et traction électriques.

M. P.-H. Ledeboer a dressé à cette place, au commencement du mois (1), un résumé très complet des différents travaux électriques qui se sont succédés au cours de l'année dernière. Nous n'avons donc l'intention que de compléter par le présent article les grandes lignes esquissées dans ce résumé et particulièrement d'envisager les progrès de l'électricité dans un pays essentiellement laborieux et marchant au premier rang de l'industrie : l'Angleterre.

Là, comme chez nous, les théories sont restées au second plan des préoccupations scientifiques et ce sont surtout les applications industrielles qui au cours de 1890 ont pris dans le Royaume-Uni une importance inespérée. La multiplication des compagnies, spécialement dans la métropole, a donné une extension très rapide aux entreprises financières ayant en vue l'exploitation des procédés et brevets susceptibles d'importantes applications Dans l'enceinte de la Cité, certaines sociétés dont les entreprises étaient restées très limitées ont pris un essor nouveau. Telles sont *the Kensington and Knightsbridge, the Chelsea, the Saint-James and Pall-Mall* et *House-to-House*, etc., etc., dont les services s'accroissent de jour en jour, tandis que de nouvelles compagnies, comme *the Metropolitan, the London Supply Company* et *the Westminster*, prenaient dans leurs districts respectifs un développement inattendu.

Au premier rang de ces industries, nous devons, vu son importance, mentionner la *London Supply Company*, qui, dans ses installations de Deptford à Grosvenor Gallery, fournissait le courant

(1) *La Lumière Electrique*, t. XXXIX, p. 7.

sous un potentiel qui au début était de 6 000 volts. Sur la plainte de plusieurs personnes établies sur des emplacements voisins, la compagnie fut peu après contrainte de transporter ailleurs toute son installation, faculté ne lui fut laissée que d'utiliser ses constructions pour une simple station de distribution.

Cette première installation présentait cependant de grands avantages, étant donnée sa proximité du centre industriel de la Cité et les facilités de distribution d'éclairage électrique par conducteurs aériens dont les travaux avaient été commencés en 1886. Les seules compagnies qui n'aient pas renoncé à ce mode de canalisation sont, à Londres, *the Cadogan* et *the Metropolitan*, mais ce n'est là qu'une solution temporaire. Il est à présumer que les fils de ces deux sociétés disparaîtront bientôt, en raison de la défaveur dans laquelle ils sont tombés à la suite des accidents survenus à New-York dans des installations analogues et dont l'écho, arrivé jusqu'en Angleterre, a alarmé la population. Une autre compagnie, *the Chelsmford*, possède aussi des fils aériens sur poteaux, mais en présence de l'hostilité persistante des habitants de Weybridge, il est à supposer qu'ils seront bientôt enlevés pour faire place à des canalisations souterraines du genre de celles établies par la généralité des compagnies soit pour l'éclairage soit pour le transport de force.

Le procédé aérien restera donc le privilège économique des installations téléphoniques ou télégraphiques, et cela dans un avenir très prochain.

Ainsi que nous avons eu l'occasion de le mentionner plusieurs fois dans ce journal, c'est la station de Deptford qui concentre l'attention, autant par son importance que par certaines particularités intéressantes. Cette installation, plus qu'une autre, mérite mention pour ses entreprises dans le courant de 1890. Le fonctionnement sous un potentiel de 10 000 volts, qui n'avait pas été sans éveiller certaines craintes, excite l'admiration, et les procédés de fabrication des conducteurs avec le nouvel isolant de M. Ferranti, ainsi que les méthodes de raccordement et de déjointoiement, assurent la meilleure place à *the London Supply Company*.

Des transformateurs ont maintenant remplacé la machinerie qui occupait jadis les constructions de Grosvenor Gallery, et, par suite de la hâte avec laquelle le transfert a été fait, nous dit *the Engineer*, par suite aussi de l'anxiété de la compagnie, qui ne voulait pas suspendre l'éclairage, il s'en est suivi de véritables tours de force déployés par les ingénieurs pour conserver la situation de la compagnie vis-à-vis de ses contrats avec les consommateurs intéressés ; en outre, un incendie survenu au cours de ces travaux, par suite d'un arc dont les conducteurs sous l'effet de la haute tension qui les traversait s'étaient dépouillés d'isolant et avaient communiqué le feu, firent dans le même temps songer à modifier l'isolement des anciens conducteurs et aboutir à imaginer la canalisation nouvelle dont la description a déjà paru dans ces colonnes. En même temps surgissait la préoccupation d'aménager convenablement les grands locaux dont disposait la société pour recevoir les dynamos colossales que comporte l'installation de Deptford, dont la mise en marche définitive eu lieu en novembre.

Pendant que l'on déployait toute cette activité dans les chantiers de la *London Supply Company*, les anciennes compagnies qui avaient survécu à plusieurs désastres financiers et celles nouvellement formées se multipliaient et construisaient des stations dans toutes les directions.

Les stations de la *Metropolitan Electric Company* à Sardinia-Street et à Manchester-Square s'édifiaient ; Sardinia-Street, qui est sur le point d'être achevée, sera d'un intérêt particulier, parce qu'elle constituera la plus grande station centrale dans laquelle toute la machinerie employée sera américaine. Les machines et les dynamos y sont toutes du type Westinghouse et les chaudières de Babcok et Wilcox. Le potentiel sous lequel le courant sera fourni dans cette station sera intermédiaire entre celui de Deptford et celui des autres compagnies.

The Saint-Pancras Vestry dont la station s'élève à Stanhope-Street (Euston-Road), fonctionnera d'ici peu, et comme la première entreprise comprendra le service public de l'éclairage de son propre district, le public sera à même d'apprécier les mérites de cette installation. La capitale est encore divisée en d'autres secteurs ; la *Brush Electric Light Company* et MM. Crompton et Cie viennent de soumissionner tout récemment et d'obtenir un district des plus importants dont ils auront à établir l'éclairage.

L'éclairage des rues, relativement à cette extension industrielle, a fait de très petits progrès l'année dernière. Il semble présentement qu'il n'y ait guère plus de 1 000 arcs d'employés à ce service,

alors qu'il y en a bien davantage d'utilisés par les particuliers et les compagnies de chemins de fer. Il est à souhaiter que la présente année voie se développer autrement l'éclairage urbain. Nos voisins éprouvent quelque dépit à faire la remarque que les boulevards de Paris présentent le meilleur exemple d'éclairage électrique ; aussi font-ils des efforts pour ne pas se laisser dépasser, jugeant très justement qu'un éclairage bien compris des rues commerçantes de Londres donnerait une importance nouvelle au trafic de nuit.

Le nombre total des lampes à incandescence en usage à Londres peut être evalué aujourd'hui à 264000, chacune d'une puissance de 8 bougies, accusant un accroissement de près de 4000 lampes par semaine.

L'application de l'électricité à la traction n'a pas pris dans le Royaume-Uni la même extension qu'au delà de l'Atlantique ; cependant diverses tentatives ont été faites dans cette voie ; à noter l'expérience de *the Series Electric Traction Syndicate* sur la ligne de North Fleet pour un parcours de plus d'un kilomètre, qui sert de base à une série d'études sur lesquelles on espère lancer une affaire financière.

M. Lineff, après plusieurs expériences exécutées sous contrôle d'expertise sur un système de tramway, a cédé son invention à *the West Metropolitan Tramway Company*, qui se propose de l'appliquer sur une ligne projetée de Kew à Hammersmith.

La plus grande entreprise de traction électrique est celle du chemin de fer *City and South London Railway*, inaugurée le 4 novembre dernier. Cette ligne, entièrement souterraine, part de King William Street, passe sous la Tamise et aboutit à Stockwell, où est établie l'usine génératrice.

Cette voie, qui n'a que 5 800 mètres de longueur, a coûté d'établissement 3 350 000 francs par kilomètre. Il convient toutefois d'ajouter que l'importance de ce chiffre tient uniquement à la nature des travaux et non à l'emploi de l'électricité. L'usine comporte 3 dynamos Edison-Hopkinson de 205 kilowatts, donnant 450 ampères sous une tension de 450 volts. Chaque dynamo est commandée par un moteur compound vertical Fowler de 375 chevaux, marchant à 100 tours par minute. Le service de la voie n'exige que deux de ces machines ; la troisième constitue l'installation de secours. Les trains pèsent 30 tonnes, et il peut en circuler 10 à la fois ; chaque locomotive peut développer 100 chevaux sous une vitesse de 40 kilomètres à l'heure. Les armatures des moteurs sont montées sur les essieux eux-mêmes et le courant leur est amené par un collecteur en acier reposant sur des isolateurs en verre.

A Birmingham, il s'est monté un nombre plus considérable de ligne de tramways électriques. La généralité possède des voitures pourvues d'accumulateurs.

Liverpool possède un chemin de fer aérien mû par l'électricité. C'est le premier de cette espèce qui ait été installé en Angleterre ; la voie construite sur un viaduc en fer de 12 kilomètres de longueur, avec gares à des distances de près de 800 mètres les unes des autres, établie par MM. Douglas Fox et J. H. Greathead, continue de fonctionner dans d'excellentes conditions.

Bref, comme on le voit, les applications de l'électricité au point de vue purement industriel ne sont pas restées stationnaires au-delà de la Manche. Malgré de regrettables catastrophes financières, malgré la panique provoquée sur les sociétés industrielles, nous sommes heureux de constater que nos voisins ne sont pas restés inactifs. Les installations anciennes ont continué à se développer dans le Royaume-Uni et les nouvelles compagnies que l'année 1890 a vu éclore, notamment à la suite de l'Exposition d'Edimbourg, dont il a été parlé ici, sont dans une voie de prospérité qui est de bon augure pour l'année présente.

C. C.

Raffinage électrique des sucres, par M Bander.

Le *Journal des fabricants de sucre* (1) signale un procédé électrique de raffinage du sucre. La masse à raffiner est placée dans une turbine pouvue d'un *steam-jacket* (enveloppe de vapeur) et hermétiquement close. Le couvercle de la turbine porte des électrodes isolées, en communication avec les bornes d'une dynamo. On met la turbine en mouvement en même temps qu'on fait arriver sur la masse de la vapeur d'eau surchauffée à 6 atmosphères.

On fait ensuite passer le courant 40 minutes au sein de la masse ainsi chauffée dans cette atmosphère de vapeur d'eau. On admet qu'il se forme de l'ozone dont l'action blanchissante opère la décoloration de la masse. On ferme le robinet de vapeur dix minutes avant d'interrompre le courant et d'arrêter la turbine. Le sucre serait, paraît-il, parfaitement décoloré au sortir de l'appareil. Un récent et bruyant procédé de raffinage électrique du sucre nous oblige à faire nos réserves et à attendre des renseignements plus précis pour dire si ce procédé est réellement sérieux. D'après l'inventeur, ses avantages sont qu'au lieu d'employer le procédé humide (redissolution, clarification, etc.), le sucre est raffiné par un procédé sec n'exigeant que quelques manipulations de peu de durée, alors que le procédé ordinaire exige quinze à vingt jours.

A. R.

(1) 10 décembre 1890.

Pile sèche Crosby (1890).

Cette pile, enfermée dans un récipient en pâte de bois laqué à l'extérieur et paraffiné à l'intérieur, se compose d'un cylindre de fonte D, qui renferme un charbon K reposant sur du feutre C, imprégné d'acide sulfurique dilué et est entouré d'une masse

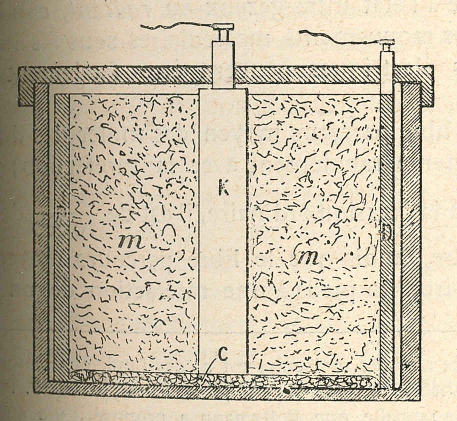


Fig. 1. — Pile Crosby.

de sciure de bois *m*, fortement tassée et mélangée de sel ammoniac.

D'après M. Crosby, cette pile durerait beaucoup plus longtemps que les autres ; il suffit d'humecter légèrement l'absorbant pour la renouveler.

G. R.

REVUE DES TRAVAUX

RÉCENTS EN ÉLECTRICITÉ

L'électricité et son trajet : du plein au vide, par William Crookes (1).

Introduction.

Je ne perds nullement de vue que j'ai l'honneur de parler devant une société non seulement de physiciens mais d'ingénieurs électriciens et j'espère ne point me trop aventurer en attirant votre attention sur un chapitre purement abstrait de la science électrique. Des exemples sans nombre prouvent que la science pure est la source féconde d'où sort le flot sans fin des applications pratiques. Nous savons tous comment l'étude spéculative de l'influence de l'électricité sur le système nerveux des animaux a conduit à la connaissance du courant électrique et finalement à la possession inestimable du télégraphe et du téléphone.

L'étude abstraite de la vie végétale de certains parasites microscopiques nous a permis de donner aux solutions fermentées de sucre la fleur et l'arome exacts des vins les plus estimés et nous promet, avant longtemps, le moyen de fertiliser le sol à volonté.

Dans une autre direction, le même ordre de recherches abstraites a mis presque à portée la conquête finale de tout un genre de maladies jusqu'ici incurables. Et je puis sans égoïsme ajouter peut-être que mes recherches sur les vides extrêmes ont jusqu'à un certain point contribué à la perfection actuelle de la lampe à incandescence. Ne négligeons donc pas, tout en récoltant et entassant avidement la moisson des profits pratiques, de répandre la semence des résultats futurs ; ils ne seront peut-être ni moins admirables ni moins appréciables.

Sous un autre rapport, je m'écarte un peu de plusieurs de mes prédécesseurs. Je vais parler de l'électricité non pas tant pour ce qu'elle est elle-même que comme d'un outil dont l'emploi judicieux peut nous servir à accroître notre connaissance limitée des atomes et des molécules de la matière, ainsi que des formes de l'énergie qui

(1) Adresse présidentielle à la Société des Ingénieurs électriciens d'Angleterre.

constituent par leurs réactions mutuelles l'univers tel qu'il se manifeste à nos cinq sens.

Je vais essayer d'expliquer ce que j'entends dire de l'électricité en la traitant d'outil. Quand je travaillais en chimiste dans le laboratoire, j'ai trouvé l'étincelle d'induction très utile pour distinguer un élément de l'autre, et aussi pour déceler la présence d'éléments encore inconnus, de corps en trop faible proportion pour qu'on pût les reconnaître par d'autres moyens. C'est ainsi que les chimistes ont découvert le thallium, le gallium, le germanium et nombre d'autres éléments.

D'un autre côté, en étudiant les réactions électriques dans les vides extrêmes, les différents éléments chimiques rares ont servi à leur tour de témoins pour reconnaître l'intensité et la nature de l'énergie électrique. L'électricité positive ou négative détermine respectivement divers mouvements et lueurs. La manière dont se comportent les corps permet donc de savoir quelle sorte d'électricité est en jeu. Dans d'autres recherches physiques, l'électricité et la chimie servent de moyens d'exploration.

En vous soumettant certaines recherches où l'électricité sert d'outil ou de moyen de mettre à la portée de nos sens des phénomènes qui leur échapperaient autrement, je dois un instant vous remettre en mémoire la théorie généralement acceptée aujourd'hui de la constitution de la matière.

Théorie cinétique des gaz.

On suppose que la matière à son dernier degré d'expansion n'est pas continue mais granulée. Maxwell représente comme suit cette vue : Pour l'entrepreneur d'un chemin de fer qui perce un tunnel dans une colline de gravier, le gravier peut passer pour une substance continue. Pour le ver qui s'insinue dans le gravier, il y a toute différence entre remonter le gravier et passer dans les interstices, et la matière ne lui semble ni homogène ni continue.

Sans m'arrêter aux spéculations sur la constitution de la matière solide ou liquide, j'aborderai tout de suite le troisième état de la matière, l'état gazeux.

La théorie cinétique des gaz nous apprend que les molécules constituantes voyagent dans toutes les directions possibles avec de grandes vitesses sans cesse variables, en se choquant presque sans cesse les unes avec les autres (1).

La distance que chaque molécule traverse sans en rencontrer d'autre s'appelle son *libre parcours*. La moyenne distance traversée sans choc par l'ensemble des molécules d'un gaz à une pression et à une température données est le *libre parcours moyen*.

La pression des molécules s'exerce dans toutes les directions et la gravitation seule les empêche de se disperser dans l'espace.

Dans les gaz ordinaires, le *libre parcours moyen* des molécules est extrêmement petit relativement à l'espace qu'ils occupent, et les propriétés qui constituent l'état gazeux ordinaire de la matière dépendent de chocs constants. Lorsqu'on réduit beaucoup le nombre des molécules dans un espace donné, le parcours moyen des molécules sous l'impulsion électrique est si long que le nombre des chocs dans un temps donné devient négligeable.

Par suite, la molécule moyenne peut suivre ses propres mouvements sans interférence. Quand le parcours moyen devient comparable aux dimensions de l'espace, les propriétés qui constituent l'état gazeux atteignent un minimum, la matière arrive à l'état ultra-gazeux ou *radiant*, condition où les mouvements moléculaires sous les impulsions électriques peuvent être facilement étudiés.

Le libre parcours moyen des molécules du gaz augmente rapidement avec la raréfaction; dans l'air à la pression ordinaire, il est de $\frac{1}{10000}$ de millimètre, tandis que le libre parcours moyen est d'environ 30 pieds à une raréfaction de un cent

(1) Le *choc* des molécules est un des fondements ordinaires de la théorie des gaz. Mais le professeur Sylvanus P. Thompson me rappelle que Boltzmann a proposé il y a quelques années une modification de la théorie cinétique qui me semble un grand perfectionnement de la fâcheuse notion du choc moléculaire. Suivant Boltzmann, dans ce qu'on appelle le *choc*, les molécules ne rebondissent pas l'une contre l'autre, et marchent seulement suivant deux routes hyperboliques opposées. L'effet extérieur est le même que si le choc avait lieu à cause de la petitesse extrême des courbes suivies, L'avantage de cette manière d'envisager le choc, c'est que les routes hyperboliques suivent les lois ordinaires de la gravitation, tandis que la théorie des chocs effectifs exige pour s'expliquer que les molécules arrivées très près l'une de l'autre manifestent une répulsion en raison inverse de la cinquième puissance de leur distance.

millionième d'atmosphère (que les appareils actuels permettent aisément); cette raréfaction serait atteinte à 90 milles au-dessus de la surface terrestre. A 200 milles au-dessus le libre parcours serait de 10 000 milles, et à des millions de milles dans les profondeurs de l'espace il deviendrait infini. Je pourrais poursuivre cette spéculation en dépit d'Aristote, qui dit : « Au delà de l'univers il n'y a ni espace, ni vide, ni temps. »

En discutant les mouvements des molécules, il y a à distinguer le *libre parcours* du *libre parcours moyen*. On ne sait rien encore de la longueur *absolue* du libre parcours, ni de la vitesse *absolue* d'une molécule; on peut au contraire prouver que les valeurs peuvent varier de zéro à l'infini; on ne peut donc parler que de *libre parcours moyen* et de vitesse *moyenne*.

La pompe à vide.

La plupart des expériences que j'ai à vous présenter se font avec des vides extrêmes; il n'est donc pas hors de propos de parler de la pompe qui sert à faire le vide dans les tubes. On a beaucoup parlé récemment de la pompe de Geissler et de ses perfectionnements, mais je suis encore très partisan de celle de Sprengel, avec laquelle j'ai obtenu un vide plus parfait qu'avec aucune autre. J'aimerais ajouter que son effet ne cesse point quand on ne voit plus de bulles d'air traverser les tubes, mais qu'elle fonctionne utilement bien après ce point. Et si l'on n'obtient pas facilement le vide non conducteur avec la pompe de Sprengel, cela tient à la présence des vapeurs de mercure, car on le réalise au contraire tout aussi rapidement quand on prend des précautions particulières pour éviter les vapeurs de mercure dans les tubes.

L'un des grands avantages de la pompe de Sprengel sur toutes les autres consiste dans sa faible capacité intérieure, qui n'excède pas quelques centimètres cubes et ne présente qu'une faible surface de paroi à la condensation des gaz.

J'ai fait apporter l'un de ses plus récents modèles; vous allez le voir fonctionner et vous pourrez juger de la raréfaction obtenue par la mesure de la jauge de Mac-Leod (1).

Passage de l'électricité au travers des gaz raréfiés.

Les phénomènes variés que présente le passage de l'étincelle d'induction au travers des gaz à différents degrés de raréfaction indiquent un état de modification particulier de la matière aux plus hautes raréfactions. Voici trois tubes exactement semblables, avec électrodes en aluminium, dans lesquels les pressions intérieures sont respectivement de 75 millimètres, 2 millimètres et 0,1 mm. En faisant passer le courant induit successivement dans les trois, vous verrez des phénomènes lumineux très différents.

Dans le premier tube (fig. 1), où la raréfaction est modérée (75 millimètres), l'étincelle d'induction passe d'une extrémité à l'autre A B et la décharge lumineuse apparaît comme une ligne de lumière et se comporte comme un conducteur

(1) Mes mesures sur les vides extrêmes ont toutes été prises avec l'excellente petite jauge du professeur Mac-Leod. Un discrédit immérité a atteint récemment cet instrument; le principal défaut allégué était son incapacité à faire faire la distinction entre la tension du gaz restant et celle de la vapeur de mercure présente. Pourtant, il est évident que dans les conditions ordinaires la tension de la vapeur de mercure n'est pas à considérer, puisqu'elle s'exerce de part et d'autre dans la jauge, et c'est seulement dans le cas où il n'y a de mercure que d'un seul côté qu'elle introduit une légère erreur. Cependant il est très difficile d'établir un appareil et de s'en servir utilement sans qu'une trace de vapeur de mercure puisse y entrer, et il n'est pas vraisemblable qu'un expérimentateur capable de travailler avec un appareil dans une telle condition soit susceptible de se servir de la jauge dans ce cas spécial sans se rappeler que ses indications sont incorrectes. L'emploi de la jauge de Mac-Leod exige de la patience et de l'expérience, mais je l'ai toujours trouvée d'un emploi très bon au delà du millionième d'atmosphère (M). Je puis ajouter des preuves évidentes de la justesse des lectures aux vides extrêmes. En 1881, j'ai lu à la Société Royale un mémoire sur « la viscosité des gaz aux raréfactions extrêmes » (*Phil. Trans.* 1881, p. 387) et j'ai figuré mes résultats sur trois grands diagrammes où j'ai représenté mes expériences poussées jusqu'à une raréfaction de 0,02 de millionième d'atmosphère; les courbes donnent la comparaison entre le degré de viscosité et la répulsion due à la radiation aux diverses pressions. Les courbes, dans le cas de l'air, par exemple, sont parfaitement régulières et finissent uniformément; il est évident que tel ne serait pas le cas si les abscisses représentant la viscosité et les ordonnées figurant les pressions n'étaient pas également justes. J'ai la satisfaction que, dans les limites étroites, les abscisses de viscosité sont correctes au plus haut point, et la conformité de l'expérience avec la théorie pour la forme de ces courbes est une preuve concluante que, à cette raréfaction élevée (0,02 M.), la jauge de Mac-Leod donne des résultats exacts à 2 0/0. Pour donner une idée de l'élévation moyenne de ce vide, j'ajoute que la raréfaction extrême mesurée — 0,02 M — est à la pression ordinaire de l'atmosphère ce qu'est un millimètre relativement à trente milles, ou bien encore ce qu'est, pour le temps, une seconde relativement à 20 mois.

flexible. Sous le tube est placé un électro-aimant; en le faisant agir, la ligne de lumière s'infléchit vers les pôles de l'aimant; en renversant le courant, la ligne se courbe au contraire vers le haut. Observez qu'en ce cas l'action de l'aimant est purement locale.

Dans un tube très raréfié, l'action est tout autre; dans le tube de la figure 2 j'ai poussé le vide très loin (à 0,1 mm.). Je fais passer le courant

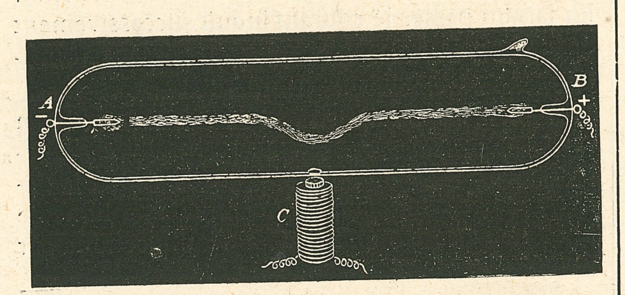


Fig. 1. — P. = 75 mm.

induit et vous voyez les molécules électrisées, comme la ligne de lumière du premier tube, se

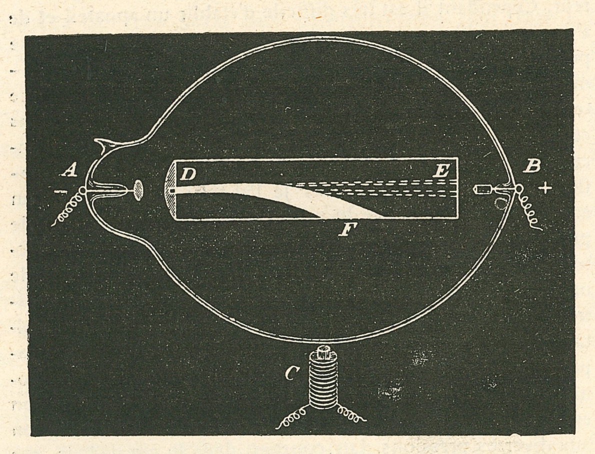


Fig. 2. — P. = 0,1 mm. = 131,5 M.

mouvoir en ligne droite et faire apparaître leurs routes en frappant un écran phosphorescent D E. Si je les soumets à l'action de l'aimant, elles se comportent autrement: la ligne se recourbe vers F mais ne se relève plus.

Il semble que dans le premier tube nous ayions affaire à l'allure moyenne des molécules du gaz dans leur ensemble, et dans le second, où le gaz a beaucoup diminué, à l'allure individuelle des molécules dont il est composé.

La décharge stratifiée.

Lorsque le gaz est trop raréfié pour donner la ligne droite lumineuse, de la première expérience, la lueur est absolument discontinue et, comme on dit, stratifiée.

On peut très bien se représenter le fait en voyant ce qui se passe dans une rue très fréquentée, dans Fleet street, par exemple. Si à un

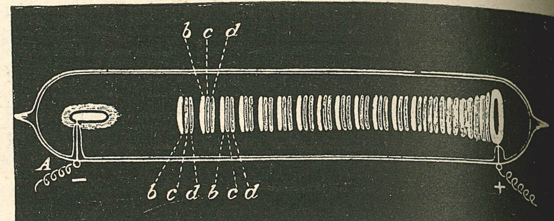


Fig. 3. — P. = 2 mm. = 2630 M.

instant où le courant des affaires va à peu près également dans toutes les directions nous restons à une fenêtre à voir passer le monde, nous pouvons remarquer que la foule des passants n'est pas uniformément répartie et qu'il se fait des groupes,

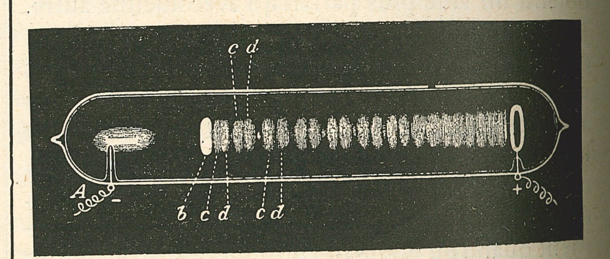


Fig. 4. — P. = 2 mm. = 2630 M.

nous pourrions dire presque des paquets, interrompus par des espaces relativement libres. On se rend facilement compte comment ces groupes ou agglomérations se forment. Certaines personnes qui marchent plus lentement que la moyenne retardent la marche des autres ou de celles qui vont en sens contraire. Un obstacle temporaire se trouve créé. Les passants arrivant par derrière augmentent l'encombrement, tandis que ceux en avant continuant à même vitesse laissent un espace vacant relativement. Si la foule se meut toute dans le même sens la formation des groupes devient plus distincte. Avec les voitures dans les

rues, le résultat, comme chacun a pu le remarquer, est le même.

Ainsi, de simples différences de vitesse suffisent dans une multitude de passants à faire des agglomérations et des intervalles. Au lieu d'observer des hommes et des femmes qui marchent, imaginons qu'on expérimente sur de petites particules de matière, comme celles du sable, à peu près de mêmes dimensions. Qu'on les mêle à de l'eau dans un tube horizontal et les agite en mesure, on aura pareil résultat, la poudre se rassemblant régulièrement alternativement sur certains points.

En passant à des substances encore plus ténues, on observe l'allure des molécules d'un gaz raréfié soumis au courant induit. Les molécules ici sont naturellement exemptes de caprice, et suivent simplement la loi que j'essaie de montrer; dans un désordre quelconque à l'origine, elles se disposent en groupes définis ou stratifications; les lueurs indiquent où se produisent les arrêts du mouvement et les frottements qui s'ensuivent; les intervalles obscurs indiquent les espaces que les molécules franchissent sans autant de chocs.

Stratifications partiellement colorées. — Comme autre exemple de stratifications dans un tube modérément raréfié (P = 2 mm.) je prendrai le cas de l'hydrogène préparé par le zinc et l'acide sulfurique, purifié et séché à la manière ordinaire et raréfié avec la pompe à mercure (fig. 3). Je fais passer le courant induit et l'on voit les stratifications colorées en bleu, rose et vert.

Près du pôle positif A, il y a une zone lumineuse, puis l'intervalle obscur ou espace de Faraday et ensuite les stratifications; la première bande (*b*) de chaque groupe est bleue, la suivante (*c*) rose et la troisième (*d*) verte.

Les disques bleus sont quelque peu errants. A un certain degré de vide, toutes les bandes bleues des stratifications passent soudainement en avant, formant un seul disque bleu brillant laissant derrière lui les bandes roses et vertes. Le tube figure 4 est à ce degré particulier de vide.....

Lorsque le tube contient un reste de composé gazeux de ce genre, la forme des stratifications peut être considérablement modifiée en variant le potentiel de la décharge. Cette modification de forme des stratifications a été observée en premier lieu par Gassiot (1865, B.-A. *Extraits*, p. 15), qui en a donné une très complète description et des dessins des changements déterminés en interposant une résistance d'eau distillée de longueur variable.

L'expérience suivante montre très clairement que le changement dépend simplement de la différence de potentiel. Voici un tube donnant avec ma bobine les stratifications attribuées d'ordinaire à l'hydrogène, mais que je crois dues à un mélange d'hydrogène, de mercure et de vapeurs hydrocarbonées.

En modifiant l'interrupteur de manière à produire de fréquentes décharges de moindre potentiel, les stratifications changent graduellement de forme et deviennent toutes roses; en modifiant encore l'interruption de façon à envoyer des décharges moins rapides à beaucoup plus haut potentiel les stratifications colorées réapparaissent. Si alors on introduit dans le circuit la résistance d'une colonne d'eau de façon à abaisser le potentiel la même chose exactement se produit. Le disque bleu est dû au mercure; son spectre est celui du mercure sans trace de la ligne rouge brillante de l'hydrogène.

Des expériences non encore terminées rendent très probable que les disques roses sont dus à l'hydrogène et que les disques verts révèlent le charbon. Le tube que vous venez de voir ne contient que de l'hydrogène, du mercure et de faibles traces de carbone; mais avec toutes les ressources à ma disposition je n'ai pu me procurer d'hydrogène exempt d'impureté. En réalité je ne pense pas qu'on ait jamais obtenu d'hydrogène absolument pur dans un tube à vide. J'ai très bien réussi à éliminer complètement le mercure et à enlever presque entièrement les traces de carbone. Sur la table il y a un tube qui donne uniformément des stratifications roses sans disques bleus ni verts pour n'importe quel potentiel.

L'espace obscur. — Après l'état stratifié on arrive au phénomène très curieux appelé « l'espace obscur ». En étudiant les phénomènes électriques dans les gaz, Faraday observa, en 1858 (¹), une interruption dans la continuité de la lumière entre les électrodes positive et négative. C'est ce qu'il appela « l'espace obscur ». On ne l'observe que dans les tubes modérément raréfiés comme celui-ci (fig. 5) (P = 6 mm.), où vous voyez que

(¹) *Experimental Researches in Electricity*, 1858, p. 1544.

la lueur positive rose qui s'étend à partir de l'électrode positive B finit environ à 10 millimètres de la lumière bleue qui constitue la lueur négative. Cet intervalle ou lacune sans lueur D est « l'espace obscur » de Faraday.

A la séparation de la lueur négative de son électrode il y a un autre espace. Dans ce tube il est si petit que la lueur semble en contact immédiat avec l'électrode, mais en poussant le vide un peu plus loin elle s'écarte davantage; dans le tube (fig. 6) qui contient de l'air à une pression plus faible (P = 3 mm.) l'espace sombre E s'étend assez pour que la lueur négative s'écarte d'environ quatre millimètres de l'électrode A. C'est de cet espace sombre que je désire m'occuper particulièrement aujourd'hui. Par la suite, quand je parlerai

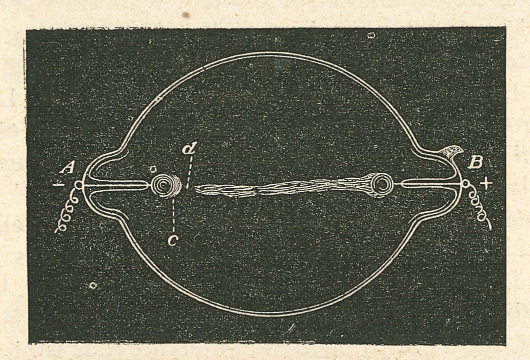


Fig. 5. — P. = 6 mm.

d'espace sombre, il s'agira de celui qui a l'intérieur de la lueur négative.

Dans les expériences où l'on vient de montrer les stratifications de l'hydrogène, le contenu du tube soumis à la décharge électrique obéit encore aux lois qui gouvernent les propriétés moyennes d'un grand nombre de molécules mobiles en toutes directions avec des vitesses de toutes grandeurs concevables. Mais si je continue la raréfaction, l'espace sombre (ou obscur) E, voisin du pôle A, devient visible, puis de plus en plus grand et finalement remplit l'espace entier. Alors les molécules sont dans une condition très différente de celles d'un tube moins hautement raréfié. Aux faibles raréfactions elles se comportent comme celles d'un gaz au sens ordinaire du mot, tandis qu'aux hautes raréfactions sous l'influence de l'entraînement électrique (*electric stress*) les molécules arrivent à un état *ultra gazeux* où elles manifestent des propriétés très nettes masquées jusqu'alors.

Le rayon de l'espace sombre varie avec le degré de vide, avec la nature du gaz, avec la température du pôle négatif et, à moindre degré, avec l'intensité de l'étincelle.

On a prétendu à tort que j'aie jamais dit que l'espace sombre représente le libre parcours des molécules dans leur condition ordinaire et l'on a remarqué que le rayon de l'espace sombre est décidément plus grand que la valeur calculée du libre parcours moyen des molécules. J'ai mesuré avec soin le rayon de l'espace sombre à diverses pressions et je l'ai comparé à la valeur calculée du libre parcours moyen des molécules gazeuses aux pressions correspondantes lorsque l'énergie électrique ne les influence pas; je n'ai pas trouvé de rapport constant de l'une à l'autre. La longueur de l'espace sombre n'est pas vingt fois celle du libre parcours moyen ainsi qu'on l'a évaluée, mais

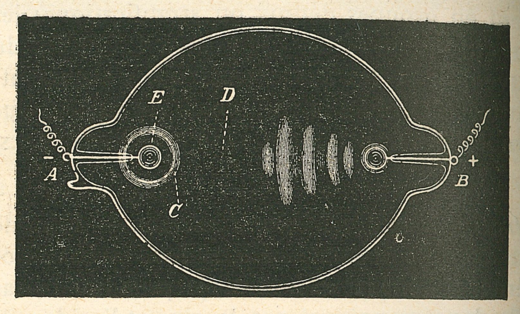


Fig. 6. — P. = 3 mm.

c'est un multiple dont la valeur croît avec la raréfaction.

Exploration avec électrodes auxiliaires. — Désireux de connaître l'état électrique de la matière à l'intérieur et à l'extérieur de l'espace sombre, j'ai fait un tube (fig. 7) ayant, en outre des électrodes positives et négatives A et B, deux autres C et D. Ce tube a montré, lorsque le vide était tel que les électrodes auxiliaires fussent en dehors de l'espace obscur, qu'il y avait une différence de potentiel considérable entre celle-ci, mesurable au galvanomètre. Si le vide était poussé assez loin pour que l'un des pôles fût au bord de l'espace sombre, il n'y avait pas de courant. Lorsque le vide était encore poussé plus loin, de façon que l'un des pôles fût tout entier compris dans l'espace sombre, il y avait de nouveau une grande différence de potentiel entre les électrodes auxiliaires, mais de signe contraire : le pôle au plus haut potentiel étant alors celui qui était au moindre primitivement.

En explorant plus complètement l'espace obscur à l'aide d'une électrode mobile, j'ai trouvé que les essais ne dépendent pas essentiellement de la

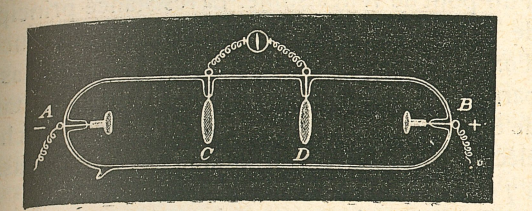


Fig. 7. — 0,25 mm. = 330 M.

raréfaction et sont réellement dus à la situation occupée par les électrodes auxiliaires relativement à l'espace sombre.

Ces phénomènes sont difficiles à saisir par une simple description et les expériences elles-mêmes ne sont pas faciles à montrer à beaucoup de per-

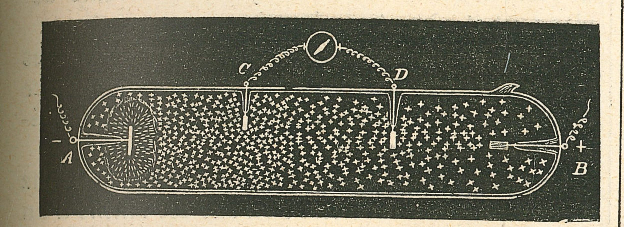


Fig. 8 *a*. — 0,25 mm. = 330 M.

sonnes à la fois; voici pourtant un modèle de l'appareil qui pourra éclaircir pour tout le monde ces explications compliquées.

Un tube cylindrique, fig. 8 *a*, 8 *b*, 8 *c* (P = 0,25 mm.) muni des électrodes ordinaires A et B aux extrémités, a deux électrodes auxiliaires voisines

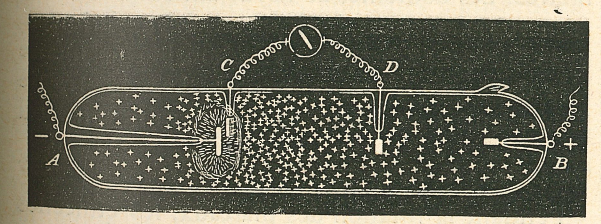


Fig. 8 *b*. — 0,25 mm. = 350 M.

C et D. Les signes + et — indiquent la distribution de l'électricité positive ou négative à l'intérieur du tube.

Je mets le pôle négatif A aussi loin que possible des pôles auxiliaires (fig. 8 *a*); en faisant fonctionner la bobine, on voit l'espace sombre autour de A tout à fait éloigné de C et D. Les signes montrent que les deux électrodes auxiliaires sont dans la région positive; en faisant l'essai avec un bon électroscope à feuille d'or, on verrait que toutes deux sont chargées positivement, mais que C est plus positif que D et en reliant C à D par un

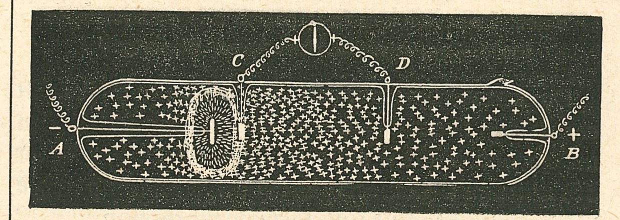


Fig. 8 *c*. — 0,25 mm. = 330 M.

galvanomètre, l'aiguille indique un courant de C à D, D étant négatif relativement à D.

Amenons maintenant l'espace sombre en telle position que l'électrode C y soit comprise (fig. 8 *b*). Les indications changent, le galvanomètre indique un courant opposé à la première direction, C est négatif et D positif, mais l'électroscope indique encore que les deux électrodes sont électrisées positivement.

Pour une certaine position de l'espace obscur où son bord est à l'électrode C (fig. 8 *c*), on trouve

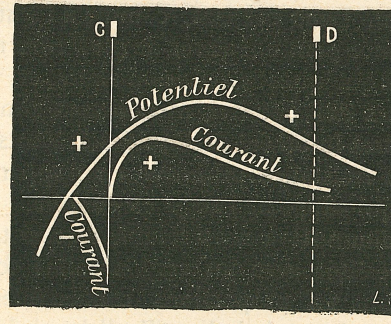


Fig. 8 *d*.

un point neutre; l'électroscope manifeste encore fortement l'électricité positive et il n'y a plus de courant au galvanomètre. Les courbes de la figure 8 *d* montrent les courants négatifs ou positifs pour les différentes positions relatives des électrodes dans le tube et la courbe des potentiels correspondants.

Lorsqu'une substance phosphorescente sous l'influence de l'électricité est introduite dans le tube, la position de la lueur la plus forte est au bord de l'espace sombre, au point de rencontre et de combinaison des atomes positifs et négatifs.

Je reviendrai plus tard sur ce phénomène à l'occasion de la phosphorescence de l'yttria (oxyde d'yttrium).

E. R.

(A suivre.)

Variations de conductibilité des substances isolantes, par M. Édouard Branly (1).

Dans une communication précédente (2) j'ai fait connaître l'accroissement de conductibilité des métaux en poudre sous l'action de l'étincelle et des courants. Cet accroissement était comparable à celui que produit une forte compression.

Les résultats sont analogues quand on substitue divers diélectriques à l'air interposé entre les particules de la poussière métallique.

Plusieurs des substances employées ont une consistance pâteuse : tels sont des mélanges d'huile de colza et de limaille de fer ou d'antimoine, d'essence de térébenthine et de limaille de fer; d'autres sont solides.

En composant une pâte de limaille métallique et de baume de Canada fluidifié au bain-marie et en versant cette pâte dans une petite auge d'ébonite entre deux tiges métalliques servant d'électrodes, on a un mélange qui durcit par le refroidissement. Dans cet état, comme à l'état fluide, la résistance peut s'abaisser de plusieurs millions d'ohms à quelques centaines d'ohms, et, comme dans le cas des poudres métalliques simples ou des poudres imbibées de liquides isolants, on revient à la résistance primitive en frappant sur la tablette qui supporte l'auge en ébonite.

Cette diminution considérable de résistance est encore réalisée avec un crayon solide formé en mélangeant en proportions convenables de la fleur de soufre et de la limaille d'aluminium, que l'on chauffe dans un tube de verre entre deux tiges métalliques, à la température de fusion du soufre. Même résultat avec le ciment obtenu avec un mélange de résine et de limaille d'aluminium versé à chaud dans un tube de verre.

L'accroissement de conductibilité des substances isolantes peut encore être mis en évidence sous d'autres formes.

Deux tiges cylindriques de cuivre rouge sont oxydées dans la flamme d'un bec Bunsen, puis elles sont superposées en croix, chargées de poids pour éviter les variations par trépidations et reliées respectivement aux bornes d'une branche d'un pont de Wheatstone. La résistance principale de cette branche réside dans les deux couches d'oxydes en contact. Une mesure prise au hasard parmi un grand nombre accusait une résistance de 80 000 ohms avant les étincelles d'une machine électrique indépendante; cette résistance passait à 7 ohms après les étincelles.

Un effet analogue est obtenu en superposant deux tiges d'acier oxydées, ou une tige d'acier et une tige de cuivre, toutes deux oxydées. On peut encore poser sur un plan de cuivre oxydé un cylindre de cuivre à tête hémisphérique également oxydé et appliqué par son poids. Au lieu d'oxyder les deux surfaces en contact, il revient au même de les recouvrir d'une très mince couche de résine. Les couches d'oxyde et de résine deviennent et restent conductrices.

Parmi les diverses dispositions expérimentales qui permettent de réaliser ces effets d'influence électrique, j'en décrirai une qui me paraît spécialement intéressante.

La source électrique est une machine de Holtz à deux plateaux mobiles. Son axe est animé d'un mouvement de rotation variant de 100 à 400 tours par minute. La substance sensible est intercalée dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone, à 10 mètres environ de la machine de Holtz et de son excitateur. Entre l'excitateur et le pont de Wheatstone, reliés à l'excitateur, courent parallèlement deux tubes cylindriques de laiton A et A', (fig. 1) isolés, écartés l'un de l'autre de 40 centimètres. Les bouteilles de Leyde annexées ordinairement à la machine de Holtz ont été supprimées mais la capacité des tubes de laiton joue le même rôle dans une certaine mesure. Les sphères de l'excitateur sont distantes de 1 millimètre ou 0,5 mm., ou même $\frac{1}{10}$ de millimètre.

Pendant la rotation des plateaux, les étincelles se succèdent très rapidement. Ces étincelles, à la distance de 10 mètres, n'exerçaient pas d'effet direct; on s'en assurait dans un essai préliminaire, en écartant les tringles qui établissaient la communication des conducteurs de la machine avec les tubes de laiton parallèles, ou en éloignant de la substance sensible les dernières parties des tubes de laiton, tout en les maintenant reliées à l'excitateur, afin de ne pas modifier l'étincelle.

(1) *Comptes rendus*, t. CXII, p. 90.

(2) *La Lumière Electrique*, t. XXXVIII, p. 593.

Voici une façon fréquemment employée de conduire l'expérience.

La substance étudiée est placée en K entre les deux tubes parallèles, ou en face de ces tubes, à une certaine distance des derniers tronçons qu'il a été commode de disposer verticalement. Pour pouvoir mesurer au pont de Wheatstone la résistance K sans avoir à se préoccuper de l'action électrique, et en maintenant la régularité du mouvement de rotation de la machine de Holtz, afin de rendre les observations successives à peu près comparables, une règle métallique plate T est appliquée sur les conducteurs métalliques des peignes; cette règle ferme le circuit et suspend les étincelles en S entre les sphères de l'excitateur. L'équilibre une fois établi au galvanomètre du pont, on ouvre le circuit de la pile et l'on isole (1) momentanément le conducteur K, en faisant sortir des godets de mercure auxquels ce conducteur aboutit les fils de communications avec le pont.

Fig. 1

Cela fait, la traverse T est soulevée et maintenue soulevée dix secondes environ. Pendant cet intervalle de dix secondes, des étincelles jaillissent en S entre les sphères de l'excitateur, et des courants de charge et de décharge successifs et très nombreux circulent dans chacun des tubes A et A'. C'est alors que la diminution de résistance du conducteur K a lieu. La traverse T est replacée, on rétablit la communication entre K et le pont, puis on ferme le circuit de la pile. L'équilibre est rompu au galvanomètre, on mesure la nouvelle résistance du conducteur K.

Les deux tubes A et A' ne sont pas nécessaires, la diminution de résistance est très facilement produite quand on n'en fait agir qu'un seul; il résulte même de quelques expériences que l'emploi d'un seul conducteur est dans certains cas plus efficace.

Dans plusieurs essais les tubes A et A' ont été terminés par deux plateaux métalliques parallèles figurant un condensateur à très large intervalle d'air, dans lequel était compris le conducteur K.

Avec la disposition expérimentale que je viens de décrire (machine de Holtz, excitateur et tubes A, A') et ne produisant en S que de très courtes étincelles, le phénomène paraît montrer beaucoup de fixité; il y a constamment diminution de résistance, non seulement avec les plaques isolantes métallisées, plombaginées, avec les tubes à limaille, avec les crayons solides à ciment isolant, mais aussi avec les verres platinés, argentés et avec des lames de verre recouvertes de feuilles métalliques très minces, or, aluminium, argent.

Les expériences se font de la même façon avec les tubes A et A' en remplaçant la machine de Holtz par une petite bobine de Ruhmkorff ou un appareil à chariot dont les étincelles induites, extrêmement courtes, jaillissent en S, entre les deux tiges de l'excitateur, lorsque la traverse T est soulevée. Avec une bobine, l'effet peut aussi être produit sans étincelles en S, mais dans des conditions moins simples.

(1) La diminution de résistance se produit évidemment avec beaucoup plus de facilité en n'isolant pas le conducteur K; mais cet isolement est favorable à l'analyse des conditions du phénomène.

VARIÉTÉS

LE ROLE DE L'ÉLECTRICIEN CIVIL
EN TEMPS DE GUERRE

J'ai eu l'occasion de faire dernièrement une communication à la Société des électriciens de New-York sur un sujet qui, je crois, n'intéresse pas seulement les électriciens américains, mais tout autant les électriciens français. C'est dans cette persuasion que je me propose de reprendre ici les principales données de cette conférence en les adaptant aux conditions d'un nouveau milieu. Je passerai sous silence ce qui convenait spécialement au point de vue américain et en particulier à la défense de New-York que j'avais surtout en vue.

ment atténuées, sinon détruites complètement, et cela par un seul moyen très simple, le même pour toutes, qui consiste à n'employer que des diaphragmes à son fondamental aigu, soit qu'ils aient une grande épaisseur et un grand diamètre, soit qu'ils aient un petit diamètre et une faible épaisseur.

De plus, dans ces conditions, en même temps qu'on obtient beaucoup de *netteté* dans la reproduction de la parole, on satisfait aux conditions nécessaires pour avoir dans le téléphone une *intensité* suffisante, circonstance très heureuse parce que les deux qualités, *netteté* et *intensité*, sont indispensables à la fois dans le téléphone, et qu'elle permet ainsi d'approcher de la perfection dans la construction d'un instrument aussi délicat qu'il est merveilleux.

Electrométallurgie de l'aluminium, par M. Adolphe Minet (1).

De nouvelles recherches sur l'électrolyse du fluorure d'aluminium à l'état fondu m'ont permis d'améliorer le rendement du système en fonction de la quantité d'électricité mise en jeu, d'abaisser la différence de potentiel aux électrodes; j'ai pu, par suite, atteindre à une production de 32 grammes de métal pour une dépense d'une quantité d'énergie équivalente à 1 cheval-heure.

Conditions de l'expérience. — La nature du bain n'a subi aucun changement, pas plus que le mode d'alimentation; les dispositions de la cuve et des électrodes diffèrent, au contraire, de celles qui avaient été adoptées dans les essais précédents.

La cuve est en fonte, et elle a conservé sa forme primitive; mais ses dimensions sont plus petites; elle est munie *intérieurement* d'une garniture de charbon aggloméré, qui s'isole de l'électrolyte et sert d'*électrode négative*.

L'aluminium s'écoule le long des parois en charbon, au fur et à mesure de sa formation, se rassemble au fond du creuset, d'où il est extrait au moyen d'un trou de coulée. Un appareil ainsi établi fournit une marche continue pendant un temps qui varie entre 20 et 30 jours.

Voici les points d'expériences relevés pour une seule cuve, le 10 décembre 1890; ils représentent la moyenne des résultats obtenus, pendant le courant du même mois, sur trois appareils semblables établis en tension.

Densité du courant (intensité par centimètre carré) au pôle positif $\delta = 0,75$ amp., au pôle négatif $\delta = 0,5$ amp. Température $t = 920°$. Durée de l'expérience $\theta = 22$ h.

Intensité	I	$= 1500$ ampères
Quantité d'électricité	$(I\theta)$	$= 330$ ampères-heures
Poids théorique	P	$= I\theta \times 0,34$ gr. $= 11\,220$ gr.
Poids obtenu	p	$= 6500$ grammes
Rendement du système en fonction de la quantité d'électricité	$\frac{p}{P}$	$= 58$ o/o
Force électromotrice minima	e	$= 2$ volts
Résistance de l'électrolyte	ρ	$= 0^{\omega},0017$
Différence de potentiel aux électrodes	E	$= e + \rho I = 4,55$ volts
Energie électrique exprimée en chevaux-vapeur	W	$= \frac{\varepsilon I}{736} = 9,27$ ch.
Quantité totale d'énergie dépensée en chevaux-heures	$W\theta$	$= 204$ ch.-h.
Poids du métal produit pour une dépense d'énergie électrique, dans l'électrolyte correspondant à un cheval-heure		31,9 gr.
Quantité d'énergie dépensée en chevaux-heures, dans l'électrolyte, pour la production de 1 kilogr. d'aluminium		31,3 ch.-h.

En comparant ces résultats avec les chiffres trouvés le 11 février 1890 (1), on remarque les avantages que présente la nouvelle disposition de la cuve sur la première; ils sont de divers ordres; avec le dernier appareil, les manipulations sont également simplifiées.

Lorsqu'on emploie l'alumine du commerce et qu'on la transforme directement en oxyfluorure d'aluminium, sans purification préalable, pour l'utiliser ensuite à l'alimentation du bain, le métal obtenu renferme de 2 à 3 o/o d'impuretés, constituées en grande partie par du silicium; la proportion du fer n'est que de $\frac{6}{1000}$ à $\frac{8}{1000}$. Tel quel toutefois, l'aluminium peut aisément se marteler et se travailler à froid. Avec des produits exempts de silice, la richesse du métal atteint 99 o/o.

Les observations qu'il m'a été donné de faire dans le cours de cette dernière étude me font prévoir que la différence de potentiel peut s'abaisser encore et atteindre un minimum de 4 volts, et cela quelle que soit l'intensité du courant, si l'on prend des dispositions en conséquence. Avec cette différence de potentiel, le chlorure de sodium, qui entre pour les 65/100 dans la formation du bain, ne serait plus décomposé, sa force électromotrice minima étant de 4,35 volts, et le rendement en fonction de la quantité d'électrité s'élèverait à 70 pour 100.

Les pertes seraient encore de 30 o/o; nous n'avons pu en définir complètement la nature. D'après les recherches de M. Hampe, une de leurs principales causes résulterait de l'attaque du fluorure en fusion par l'aluminium à l'état naissant; il se formerait alors un sous-fluorure d'aluminium dans le bain.

Ces pertes sont considérablement diminuées, le rendement est presque théorique lorsque l'appareil est disposé pour la formation d'alliages d'aluminium; dans ce dernier cas, la garniture intérieure est supprimée, la cuve est constituée par un des métaux qui entrent dans la formation de l'alliage. L'aluminium à l'état naissant se combine avec le métal de la cuve, et le phénomène dont nous parlons plus haut se produit plus difficilement, en raison de cette nouvelle affinité.

(1) *Comptes rendus*, t. CXII, p. 231.

(1) *Comptes rendus*, 9 juin 1890.

L'électricité et son trajet : du plein au vide, par M. William Crookes *(suite)* (1).

Matière radiante.

Au moyen de ce tube (fig. 9), je suis à même de prouver qu'un courant de particules ultra-gazeuses ou de matière radiante ne transporte pas un courant d'électricité, mais consiste en une succession de molécules négativement électrisées dont la répulsion électrostatique contrebalance l'attraction électromagnétique, parce que probablement leur vitesse le long du tube est inférieure à la vitesse de la lumière. Le tube a deux bornes négatives A et A' l'une près de l'autre à un bout permettant d'envoyer deux courants parallèles de matière radiante rendus visible en les faisant passer par deux trous dans un diaphragme de mica, contre un écran de substance phosphorescente. Le vide est poussé à 0,1 millimètre. En reliant une seule des bornes négatives à la bobine d'induction la traînée lumineuse suit le tube de C à D parallèlement à l'axe. Je relie ensuite la seconde borne négative, ce qui donne deux courants parallèles de molécules. Si ces courants étaient de la nature des courants conduits par les fils ils s'attireraient l'un l'autre, mais s'ils sont simplement deux courants de molécules électrisées, ils se repousseront.

Dès que le second courant est établi, vous voyez que le premier saute à la direction CE, en manifestant une forte répulsion et prouvant que tous deux ne se comportent pas comme des conducteurs de courant, mais seulement comme des corps pareillement électrisés. Il est probable,

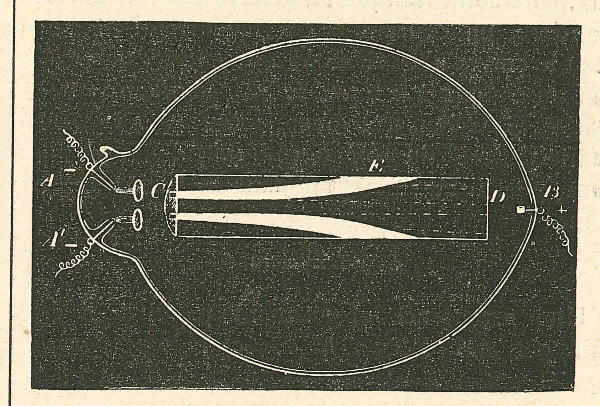


Fig. 9. — P. = 0,1 mm. = 131,5 M.

pourtant, que si la vitesse des courants des molécules était plus grande que celle de la lumière, ils agiraient différemment et s'attireraient l'un l'autre comme des conducteurs transmettant un courant.

Pour juger de l'état électrique des molécules résiduelles d'un tube très fortement raréfié tel que vous venez de le voir, j'ai introduit une électrode auxiliaire comme explorateur entre les électrodes positive et négative de façon que le courant moléculaire l'atteigne. Le but était de

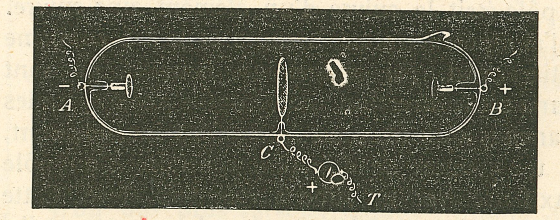


Fig. 10. — P. = 0,0001 mm. = 0,13 M.

s'assurer si les molécules, en choquant un obstacle, perdraient leur charge électrique. Dans cette expérience (fig. 10) (P = 0,0001 m. ou 0,13 M.) (2) on a trouvé que le pôle auxiliaire C placé en ligne directe entre les pôles positif et négatif A et B et recevant par conséquent tout le choc

(1) *La Lumière Electrique* du 31 janvier 1891, p. 233.

(2) M = un millionnième d'atmosphère, 1 000 000 M = 760 millimètres = 1 atmosphère.

des molécules, à partir du pôle négatif, manifestait une forte charge *positive*. Dans une suite d'autres expériences pour décider la question, l'électricité obtenue a toujours été positive en essayant soit avec l'électromètre à feuille d'or, soit avec celui de M. Lippmann, et lorsque le pôle auxiliaire communiquait à la terre par un galvanomètre, un courant passait comme si ce pôle était le cuivre d'un élément zinc-cuivre, manifestait un courant à la terre, le pôle auxiliaire étant positif. Si au lieu d'envoyer le courant à la terre, le fil était relié au pôle négatif du tube, un courant plus intense passait dans la même direction.

L'effet Edison.

Une expérience absolument parallèle a été faite par MM. Edison, M. Preece et le professeur

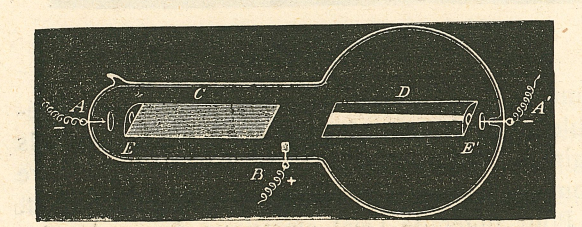


Fig. 11. — P. = 0,001 mm. = 1,3 M.

Fleming, en employant, au lieu d'un tube raréfié, une lampe à incandescence. Ils ont observé que d'un pôle auxiliaire placé entre les extrémités du filament l'extrémité s'écoulait toujours comme si le pôle était le cuivre d'un élément zinc-cuivre.

J'ai répété leurs expériences et je les confirme entièrement. J'ai obtenu un courant puissant d'une seule direction avec un pôle placé entre les branches d'un filament de charbon incandescent, et un courant de direction contraire d'un pôle auxiliaire avec un tube à vide très élevé. Cette différence est extrêmement embarassante, et j'ai essayé avec un résultat identique nombre de tubes d'expériences de différentes sortes. L'électricité obtenue d'un pôle auxiliaire placé entre les bornes négative et positive d'un tube très raréfié est toujours *positive*, et ce n'est que récemment qu'une nouvelle expérience a éclairé la question.

Certains résultats contradictoires sont dus à la raréfaction, qui n'est point identique dans tous les cas. Dans mes tubes à vide, les directions du courant entre le pôle auxiliaire et la terre de négatives deviennent positives quand la raréfaction devient plus haute. En essayant le courant tandis que le vide se fait, il y a un moment où la déflexion du galvanomètre — jusque là négative — devient nulle et manifeste que le potentiel à ce point est zéro. A ce moment, l'écoulement de quelques gouttes de mercure de plus de la pompe rend le courant positf. Le changement se produit à une pression d'environ 2 millimètres.

Après que ce point est atteint, lorsque le courant d'induction traverse le tube, les parois deviennent rapidement électrisées, probablement par le frottement du courant moléculaire contre le verre, et cette électrisation s'étend à la surface de tous les objets placés à l'intérieur du tube. Je vais montrer comment cette électrisation des

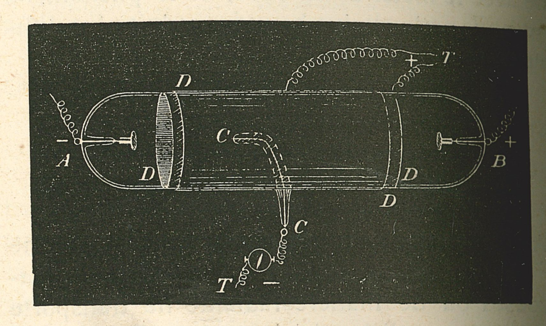


Fig. 12. — P. = 0,0001 mm. = 0,13 M.

parois internes agit sur le courant moléculaire aux vides extrêmes. Dans ce tube (fig. 11) (P = 0,001 mm. ou 1,3 M) sont fixés deux écrans phosporescents C et D ; à l'extrémité de chacun se trouve un écrou de mica E ou E' avec une ouverture vis-à-vis du pôle négatif A ou A' L'un des écrans C est dans une partie cylindrique du tube et près de ses parois, l'autre D dans un espace sphérique, et par conséquent assez loin des parois. Au passage du courant, l'écran D dans le globe montre une traînée phosphorescente étroite prouvant que les molécules sont libres de suivre leur course normale à partir du pôle négatif. Dans la partie cylindrique du tube, au contraire, l'attraction des parois est si grande que le courant moléculaire est suffisamment élargi pour que toute la surface de l'écran C brille d'une lueur phosphorescente.

Dans le tube (fig. 12) (P = 0,0001 mm. = 0,13 M) un pôle auxiliaire C C protégé, sauf en un point à son extrémité, par une enveloppe épaisse de verre, est placé vis-à-vis du pôle négatif A au centre du courant moléculaire et le tube est recouvert à l'intérieur et à l'extérieur de métal D D mis à la terre, de façon à entraîner aussi vite que possible l'électricité positive ; on voit qu'alors les molécules quittent le pôle négatif et frappent le

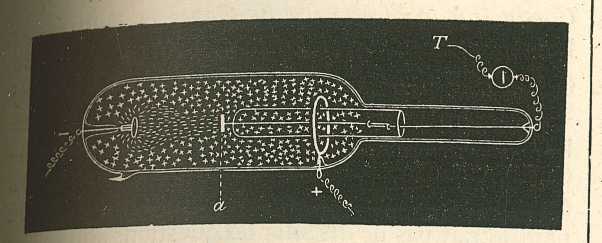


Fig. 13 *a*. — P. = 0,0001 mm. = 0,13 M.

pôle auxiliaire C emportant dans leur parcours le long du tube une charge négative qu'elles lui communiquent.

Ce tube offre de l'intérêt, car c'est celui avec lequel j'ai pu d'abord comprendre pourquoi dans mes précédents essais j'obtenais toujours une charge positive sur un pôle auxiliaire placé dans le courant direct du pôle négatif. Une fois parvenu là, il était facile d'imaginer une forme d'appareil pour vérifier complètement la théorie et en même temps élucider beaucoup le sujet. Les figures 13 *a*, *b*, *c*, concernent un pareil tube ; c'est un modèle dont j'ai essayé de représenter l'état électrique aux vides extrêmes par le nombre des signes + et —. La raréfaction a été poussée à 0,0001 m. ou 0,13 M. et l'on voit qu'au voisinage

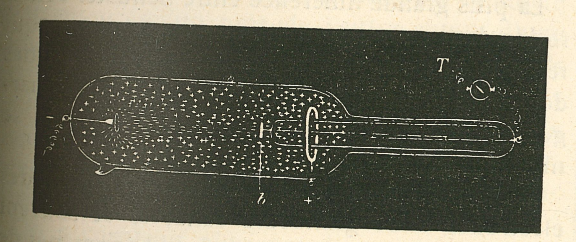


Fig. 13 *b*. — P. = 0,0001 mm. = 0,13 M.

du pôle positif et presque jusqu'au négatif le tube est fortement électrisé d'électricité positive, les atomes négatifs émanant du pôle négatif suivant un cône vivement rétréci.

Quand un pôle auxiliaire y occupe la position de la figure 13 *a*, les chocs des molécules positives ou négatives sont sensiblement égales et aucun courant ne passera de ce pôle à la terre par le galvanomètre. C'est la position *neutre*. Si le pôle auxiliaire occupe la situation de la figure 13 *b*, les molécules électrisées positivement l'emportent grandement sur les négatives et l'électricité positive apparaît ; que le pôle auxiliaire soit placé au contraire comme sur la figure 13 *c*, les molécules négatives prédomineront et le pôle donnera de l'électricité négative.

A mesure que le vide augmente, la charge positive du tube augmente et le point neutre se rapproche du pôle négatif et à un degré très voisin du vide non conducteur l'électrisation positive prédomine tellement qu'il est presque impossible d'avoir de l'électricité sur un pôle auxiliaire sans qu'il touche réellement le pôle négatif. Le tube est devant vous, et je vais maintenant vous montrer le changement de sens du courant en déplaçant le pôle auxiliaire mobile.

Je n'ai pas réussi à faire changer de signe « l'effet

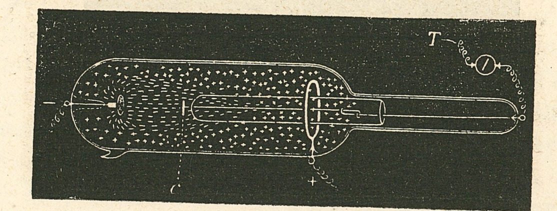


Fig. 13 *c*. — P. = 0,0001 mm. = 0,13 M.

Edison » dans les lampes aux vides les plus extrêmes que ma pompe puisse produire. La question exige d'autres recherches et, comme d'autres phénomènes accessoires, ces différences promettent une riche moisson de découvertes futures au physicien ; les résidus de la chimie ont souvent été la source de corps nouveaux et importants.

Propriétés de la matière radiante.

L'un des plus caractéristiques attributs de la matière radiante — d'où vient son nom — est de se mouvoir sensiblement en ligne droite et dans une direction presque normale à la surface des électrodes. Si l'on admet que le courant induit passe continuellement au travers d'un tube vide dans la même direction, on peut imaginer deux façons dont la chose a lieu ; soit que l'arrivée des molécules gazeuses à la surface du pôle négatif doive cesser et le phénomène prendre fin, soit que les molécules trouvent le moyen de revenir en arrière.

Je vais vous montrer une expérience qui révèle le fait même du retour des molécules. Voici un tube (fig. 14) raréfié à une pression de 0,001 mm. ou 1,3 M; en son milieu il y a un diaphragme de verre mince C percé de deux trous D et E, et dans une partie du tube un pôle concave A' dont le foyer coïncide avec le trou D du diaphragme. Derrière le trou supérieur et devant celui d'audessous deux moulinets mobiles F et G sont susceptible de tourner sous l'influence du plus faible courant gazeux.

En faisant passer le courant avec le pôle concave comme négatif, les petits moulinets tournent de manière à prouver qu'à cette haute raréfaction un courant de molécules part du trou inférieur du diaphragme, tandis qu'en même temps un courant de molécules nouvellement chargées est forcé au

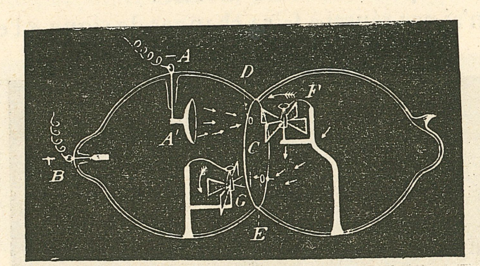


Fig. 14. — P. = 0,001 mm. = 1,3 M.

travers du trou supérieur à partir du pôle négatif. L'expérience parle d'elle-même et montre autant qu'une expérience peut le faire que jusqu'ici la théorie est juste.

On présente cette vue de l'état ultra-gazeux de la matière simplement comme une hypothèse d'étude, qui, dans l'état actuel de nos connaissances, peut être considérée comme une aide nécessaire à conserver tant qu'elle pourra être utile.

Dans les recherches expérimentales les hypothèses primitives doivent nécessairement être modifiées, appropriées et parfois abandonnées entièrement en raison d'observations plus exactes. Dumas a très justement dit que les hypothèses sont des béquilles que nous jetons dès que nous savons marcher sans leur secours.

Matière radiante et électrode matérielle radiante.

En résumant mes recherches sur la matière radiante et l'état des résidus gazeux dans les vides extrêmes et sous l'influence électrique, je dois rappeler certaines attaques faites contre les vues que j'ai proposées. Les plus importantes sont contenues dans un volume des *Physical Memoirs* choisis et traduits de sources étrangères sous la direction de la *Physical Society* (vol. I, part. 2). Ce volume contient deux mémoires, l'un de Hittorf sur la *Conduction of Electricity in Gazes* et l'autre par Puluj, sur *Radiant Electrode Matter and the so called fourth State*. Le mémoire du Dr Puluj surtout me concerne, car son auteur s'est donné pour tâche d'attaquer vigoureusement mes conclusions. Outre mon désir d'éviter les controverses dans une adresse comme celle-ci, le temps ne me permettrait pas de discuter les questions soulevées par mon critique; j'observerai donc seulement en passant que le Dr Puluj ne fait pas autorité pour rattacher ma théorie d'un quatrième état de la matière à la doctrine transcendante de l'espace à quatre dimensions.

J'ai déjà signalé que c'est une erreur de supposer que j'aie déclaré l'étendue de l'espace sombre d'un tube très raréfié où passe l'étincelle d'induction identique à la moyenne naturelle du libre parcours des molécules gazeuses à cette raréfaction. Je puis citer de nombreux passages de mes écrits, relativement à ce que j'ai pensé et dit du libre parcours moyen et de l'influence à son égard de l'électrisation (1).

Le professeur Schuster m'attribue une pareille vue dans un passage (2) où il admet nettement que le libre parcours d'une molécule électrisée peut différer de celui de son état ordinaire.

La plus grande différence entre Schuster et moi réside dans cette supposition que « la matière qui remplit l'espace obscur se compose de parties détachées mécaniquement des électrodes et chargées statiquement d'électricité négative qui se meuvent progressivement en droite ligne ».

A ces particules détachées mécaniquement des électrodes « de grandeurs variables et souvent grosses » Puluj attribue tous les phénomènes de chaleur, de force et de phosphorescence que j'ai successivement décrits dans mes mémoires.

Puluj s'oppose énergiquement à ma définition de « matière radiante » et propose à la place le terme fallacieux d' « électrode matérielle radiante ». J'ai dit fallacieux, car sa définition comme la mienne admet l'existence de la matière radiante, et elle entraîne de plus l'hypothèse que la matière radiante est réellement la matière désagrégée des pôles.

Puluj déclare que les phénomènes des vides extrêmes que j'ai décrits sont dues aux formes irrégulières des électrodes matérielles radiantes. Mon opinion est qu'ils sont produits par la matière radiante des molécules résiduelles du gaz.

S'il n'y avait pas là un cas à mettre en évidence devant vous, je ne le mentionnerais pas. En pareille occasion les questions de controverse ne doivent pas avoir place et je me contenterai par conséquent de vous montrer quelques nouvelles expériences qui tranchent la question,

E. R.

(*A suivre.*)

(1) *Phil. Trans.*, part. I, 1879, p. 507, 530; 1880, p. 472; part. II, 1881, p. 719. — R. I. Conférence du 4 avril 1879.

(2) Schuster. *Proc. Roy. Soc.*, t. XVIII, p. 556.

Sur les récepteurs à sélénium.

Nous extrayons le passage suivant du compte rendu de la séance de la *Physical Society* du 12 décembre 1890.

M. Bidwell a exécuté quelques expériences avec des récepteurs à sélénium. La variété cristalline de sélénium est, dit-il, la plus intéressante pour les physiciens, à cause de la grande diminution de résistance qu'elle subit par l'effet de l'illumination. Il montre expérimentalement cette propriété avec différentes formes de récepteurs, dont il explique la construction. La forme qu'il recommande est celle dans laquelle deux fils de cuivre sont entourés l'un près de l'autre autour d'une lame de mica étroite et l'intervalle entre les fils est rempli par du sélénium. Ces fils forment les extrémités du récepteur (M. Bidwell lui donne le nom de « cell ») qu'on recuit avant de s'en servir, pendant plusieurs heures, à une température supérieure à 200° C.

On a construit plusieurs de ces récepteurs en 1880 et 1881, et leur sensibilité à la lumière n'a pas varié pendant 1882; en 1885, toutefois, on a trouvé que quelques-uns étaient moins sensibles et d'autres absolument hors d'usage; sur trente, un seul garda sa sensibilité jusqu'en septembre 1890. Cette perte de sensibilité, M. Bidwell l'attribue à la formation d'un excès de séléniure de cuivre, car si la présence d'un peu de séléniure est nécessaire pour que le récepteur fonctionne convenablement, une trop grande quantité nuit à son action. On a électrolysé le séléniure d'un récepteur détérioré, et des flocons rouges de sélénium amorphe ont apparu à l'anode. Une substance blanche ressemblant à du chlorure de calcium humide se formait aussi; c'était probablement de l'oxyde ou de l'hydroxyde de sélénium. On a obtenu de petits courants de polarisation dans les récepteurs.

On a fait une expérience de cours qui montre les propriétés des récepteurs. L'un d'eux était uni en série avec un relais et une batterie. Le relais était disposé de façon à faire sonner un timbre ou allumer une lampe à incandescence. Quand le circuit du timbre était fermé, il restait silencieux tandis qu'on éclairait les récepteurs de sélénium, mais en interposant un écran, le timbre sonnait. En employant comme écrans plusieurs verres colorés, on constate que l'effet est dû aux rayons rouges et jaunes. Une expérience semblable faite avec la lampe est très frappante : en baissant la flamme du gaz qui éclairait le récepteur, la lampe brillait; elle s'éteint lorsqu'on lève le gaz. Ceci montre qu'on peut réaliser un allumeur automatique qui allumerait ou éteindrait les lampes suivant le besoin.

Le professeur Michelin dit qu'il a récemment construit des récepteurs ou piles d'une espèce différente de ceux que présente M. Bidwell et a constaté qu'ils donnaient une force électromotrice quand on les exposait à la lumière. Pour son objet, le recuit prolongé, etc., sont tout à fait inutiles, et une pile complète peut être construite en dix minutes. Une de ses piles a donné par un temps brumeux une force électromotrice de plus de 1 volt, mesurée à l'électromètre. La rapidité de l'action diminue au bout d'un jour ou deux, mais si on les laisse en circuit ouvert, la force électromotrice finale ne varie pas en une semaine. En circuit fermé toutefois, elles se détériorent.

Le professeur Pilckring dit que les deux oxydes de sélénium sont déliquescents et que la conclusion de l'auteur relativement à la matière blanche formée par l'électrolyse est probablement correcte.

Le professeur S. Thompson croit que Graham s'est servi de platine au lieu de cuivre, et a trouvé que le sélénium se fendille par le recuit. Il a également trouvé qu'il suffisait de recuire jusqu'à l'apparition de la teinte ardoisée caractéristique.

En réponse à des questions posées par le prési-

dent, M. Ayrton, et par M. Perry, qui demandaient si la faible résistance et le manque de sensibilité des vieux récepteurs sont dues à l'humidité, M. Bidwell dit que la dessication est sans effet, et qu'en chauffant on retrouve la résistance mais non la sensibilité. Quant au recuit, il diminue considérablement la résistance.

Graham Bell a, croit-il, cessé d'employer le platine, parce que les résistances sont très grandes avec ce métal.

C. R.

Relation entre le travail du courant et l'énergie chimique dans les éléments galvaniques, par M. Edouard Lévay [1].

Le but de ces recherches était de déterminer avec précision la chaleur chimique et l'équivalent calorifique du travail du courant et d'évaluer la différence entre ces deux quantités. L'importance de la question et le fait que le travail du courant a été déterminé par une méthode différente de celle de Jahn ont poussé l'auteur à publier des résultats qui concordent avec ceux qu'avait déjà obtenus ce dernier.

La chaleur chimique se déduit de la quantité de métal déposé au pôle positif de l'élément de la façon suivante : soit m cette quantité, au bout de t minutes, q la chaleur totale dégagée dans tout un circuit, qui est entièrement plongé dans le calorimètre, et σ l'équivalent chimique de ce métal; on a pour la chaleur chimique correspondant à σ

$$W = \sigma \frac{Q}{m}.$$

Dans cette formule, σ est connu, q est mesuré au calorimètre et m déterminé par la balance.

On peut, comme contrôle, comparer la quantité W à la différence des chaleurs de combinaison des deux métaux de l'élément, déterminée directement.

Le travail du courant se calcule à l'aide du poids d'argent déposé dans un voltamètre. D'après Kohlrausch, la quantité d'argent déposée par un ampère en une minute est 67,09 mg. et l'équivalent mécanique de la chaleur correspondante est 1125,77 calories. Si donc le courant met en liberté pendant t minutes, l grammes d'argent, le travail du courant correspondant L pour deux atomes d'argent est, en calories :

$$L = 2 \cdot \frac{1125{,}77}{67{,}00} \cdot \frac{e}{t}.$$

Sa chaleur secondaire est :

$$S = W - L.$$

Le calorimètre employé était celui de Bunsen légèrement modifié; le mouvement lent de la colonne de mercure était absolument insignifiant.

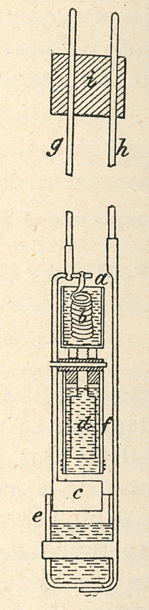


Fig. 1. — Voltamètre à argent.

Le voltamètre à argent se composait d'un petit vase d'argent a et d'un fil de même métal enroulé en spirale q, qu'on pouvait commodément introduire dans le calorimètre en même temps que l'élément galvanique. Le vase rempli d'azotate d'argent était réuni au pôle négatif, et la spirale placée au milieu du vase au pôle positif de l'élément.

L'élément était disposé de manière à ce qu'on pût le fermer ou l'ouvrir facilement sans être forcé de l'enlever du calorimètre. Les liquides étaient contenus dans les vases e et f, le second était fermé à la partie inférieure par un papier parchemin; c est l'électrode positive, d la négative; on voit sur la figure qu'elles étaient reliées au voltamètre. La tige de verre h portait le vase de verre e avec le liquide, dans lequel pouvait plonger l'électrode positive c; la tige g supportait le reste de l'élément et le voltamètre.

[1] *Wiedem. Annalen*, janvier 1891.

Voici la marche d'une expérience : on pesait dans une balance très sensible le métal du voltamètre et celui de l'élément, on disposait l'appareil comme l'indique la figure et on le laissait plusieurs heures en circuit ouvert, dans un vase entouré de neige; on le portait dans le calorimètre, et si son introduction produisait un mouvement de l'index, on attendait que la température devînt absolument stationnaire. On fermait alors le circuit, et on notait le temps.

Au bout d'une durée quelconque on ouvrait le circuit et on attendait que la pile eût repris la température 0°; on retirait l'élément et le voltamètre du calorimètre; on lavait à l'eau distillée les différentes parties, on les séchait et on pesait de nouveau les métaux.

L'augmentation de poids du vase d'argent ne différait jamais que très peu de la diminution de poids de la spirale, et l'excès était tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

L'auteur a fait trois expériences avec un même élément Daniell et trois expériences avec un élément Warren de la Rue pour différentes concentrations du chlorure de zinc. On a admis pour les poids atomiques

Cu = 63,17 Ag = 107,66 Zn = 64,90

1. Pour le Daniell, on a employé du cuivre du commerce recouvert d'une épaisse couche de cuivre électrolytique; le zinc était amalgamé à nouveau avant chaque expérience. Les poids spécifiques des dissolutions étaient pour le sulfate de cuivre (concentré) 1,174, pour le sulfate de zinc 1,095. Le circuit a été fermé chaque fois pendant 30 minutes. Voici quels sont les résultats :

TABLEAU I

Argent déposé dans le voltamètre en *mg*	Cuivre déposé dans l'élément en *mg*	Chaleur dégagée	Chaleur chimique	Équivalent du travail du courant	Chaleur secondaire
45,0	13,7	10,85	50,029	50,340	—0,311
45,6	15,0	12,00	50,526	51,011	—0,475
45,4	14,3	11,40	50,359	50,786	—0,427
Moyenne.............			50,308	50,712	—0,404

Dans l'élément Daniell le travail du courant l'emporte sur la chaleur chimique. L'élément se refroidit en fonctionnant.

2. Pour l'élément Warren de la Rue, la disposition différait de celle de Daniell. Le vase de verre supérieur était supprimé et le pôle positif était constitué par un petit vase d'argent relié à la spirale du voltamètre, rempli complètement de chlorure d'argent et dont les parties libres étaient soigneusement recouvertes de gutta-percha. Quand on faisait descendre la lame de zinc, le vase d'argent plongeait dans la solution de chlorure et l'élément était fermé.

On mesurait non pas la quantité d'argent, mais la quantité de zinc employée. Voici les résultats pour une dissolution de chlorure de zinc de formule $Zn\,Cl^2 + 100\,H^2\,O$.

TABLEAU II

Argent déposé dans le voltamètre en *mg*	Argent déposé dans l'élément en *mg*	Chaleur dégagée	Chaleur chimique	Équivalent du travail du courant	Chaleur secondaire
43,5	58,0	14,16	52,566	48,662	+3,904
43,3	58,2	14,30	52,904	48,427	+4,477
43,3	58,4	14,50	53,460	48,427	+5,033
Moyenne.............			52,976	48,505	+4,471

L'auteur a pris ensuite une dissolution de concentration $Zn\,Cl^2 + 50\,H^2\,O$.

TABLEAU III

Argent déposé dans le voltamètre en *mg*	Argent déposé dans l'élément en *mg*	Chaleur dégagée	Chaleur chimique	Équivalent du travail du courant	Chaleur secondaire
42	66,2	15,40	50,090	46,984	+3,106
42,1	66,0	15,20	59,588	47,085	+2,503
42,4	69,2	16,10	50,096	47,420	+2,673
Moyenne.............			49,924	47,163	+2,761

Prenons enfin une dissolution concentrée $Zn\,Cl^2 + 25\,H^2\,O$.

première section sont terminés; on estime qu'un tunnel assez large pour deux voies coûtera quatre millions de francs par kilomètre, sans compter les stations.

On a fait remarquer avec raison que ces tunnels, excellents là où l'on ne peut pas faire autrement, au centre de la ville ou pour traverser les rivières, pourront être avantageusement remplacés dans les faubourgs par des voies aériennes, beaucoup moins coûteuses à établir.

P.-H. LEDEBOER.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES MACHINES DYNAMO[1]

L'armature A de l'électromoteur alternatif de *M. Kennedy*, représenté par la figure 1, est fixe; l'inducteur B, à deux pôles, entraîne le commutateur C. Le courant alternatif amené par la canalisation M R se bifurque en O et en P, en partie à l'armature A directement, et en partie sur l'inducteur B, par les balais F F′ et le collecteur C. Au départ, ce moteur s'accélère jusqu'à une vitesse telle que les balais F F′ passent d'une lame à l'autre du collecteur au moment même où les courants alternatifs changent de sens, de manière qu'ils sont alors transformés sur B en courants *ondulatoires* de même fréquence que les courants alternatifs, mais toujours de même sens.

Cette vitesse de synchronisme s'obtient en tours par seconde, en divisant la fréquence du courant alternatif — le nombre de ses alternances par seconde — par la moitié du nombre des lames du commutateur.

En général, dans tous ces types, génératrices ou réceptrices, les enroulements sont en compound, et les inducteurs sont excités par des courants ondulatoires dérivés de deux courants alternatifs discordants d'un quart de phase. Les courants ondulatoires résultants diffèrent aussi d'un quart d'onde, de manière que l'un est maximum quand l'intensité de l'autre est nulle, et que leur passage dans les deux circuits séparés d'un inducteur compound équivaut à peu près à celui d'un courant d'intensité constante, et que le champ magnétique varie très peu.

Le moteur représenté par la figure 2 est actionné par deux courants alternatifs M M′, à fil de retour unique R, différents d'un quart de phase, et rectifiés par deux commutateurs C C′, montés sur l'axe de l'inducteur à deux enroulements G et K.

Le second circuit étant ouvert par la clef S, tandis que le premier, fermé par S′, excite par C

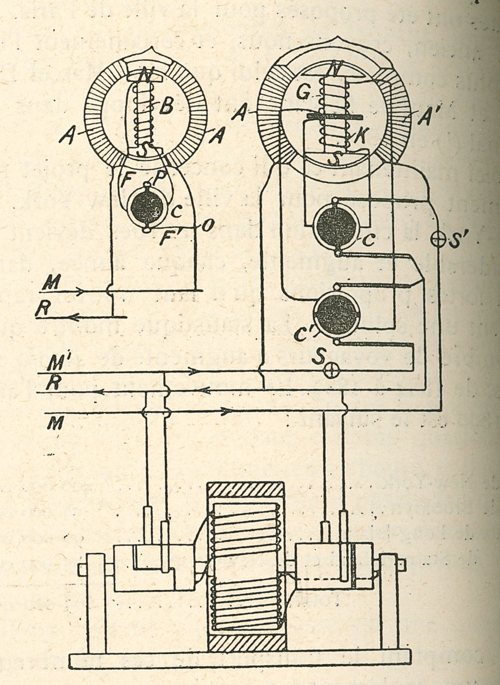


Fig. 1 et 2. — Electromoteur alternatif Kennedy (1890).

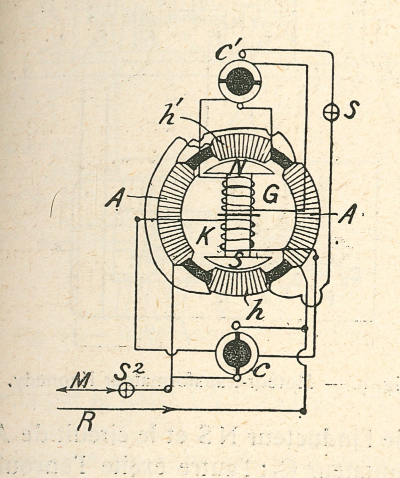
l'enroulement K de l'inducteur et l'armature A A, le moteur tourne synchroniquement comme dans le cas précédent, puis, une fois cette vitesse acquise, on ferme par S′ le second circuit sur C′ et G. L'inducteur est alors excité par deux courants ondulatoires discordants d'un quart de phase, de manière que l'intensité du champ reste à peu près invariable.

Lorsque la génératrice ne fournit qu'un seul courant, l'autre est fourni (fig. 3) par les enroulements *b b′* de l'armature, disposés entre A et A et reliés au commutateur C′ de manière à envoyer en G ce courant ondulatoire discordant d'un quart de phase avec le rectifié de M.

La mise en train de ce moteur s'opère, comme pour le précédent, en y envoyant d'abord le courant de M R jusqu'à la vitesse du synchronisme, puis, par S, celui des bobines auxiliaires *b b′*.

En pratique, on emploie presque toujours des moteurs multipolaires tels que ceux des figures 5 et 6, à doubles enroulements C C′... avec armatures pourvues de l'enroulement supplémentaire en E E, E′ E′.

Dans le type du moteur D représenté par la figure 7, les deux commutateurs C C′ rectifient les deux courants alternatifs discordants d'un quart de phase admis par les balais $F F_1 F_2 F_3$ et sortant par $(F_4 F_5 F_6 F_7)$ en deux courants ondulatoires de même écart.



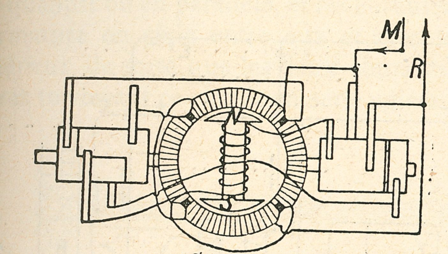


Fig. 3 et 4. — Alternateur Kennedy.

La figure 8 représente une dynamo génératrice construite d'après le même principe que les moteurs précédents, On reconnaît en B l'inducteur à double enroulement G et K, et à deux commutateurs C C′.

L'armature fixe porte quatre bobines, A A et *b b*, disposées de manière que les courants induits dans la série *b b* diffèrent d'un quart de phase de ceux de A A. Une partie de chacun de ces courants est rectifiée par les commutateurs C C′ en courants ondulatoires de même écart, distribué aux enroulements G et K de manière à exciter l'inducteur presque uniformément.

On peut, par extension, produire au moyen de

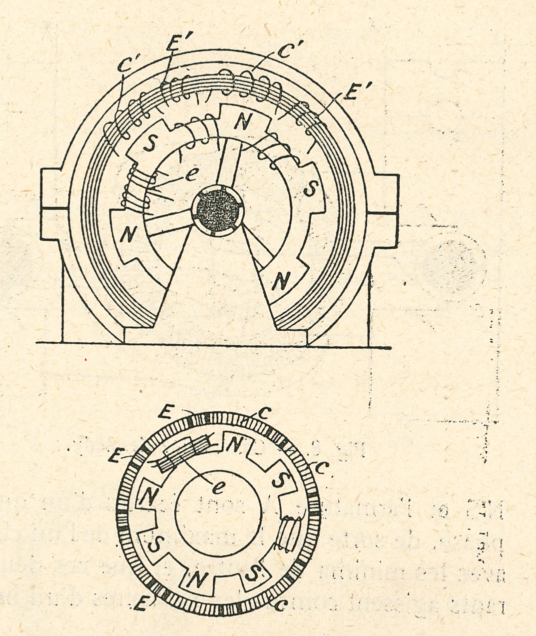


Fig. 5 et 6. — Alternateur Kennedy multipolaire.

cette méthode des courants continus par une disposition analogue, comme exemple, à celle que

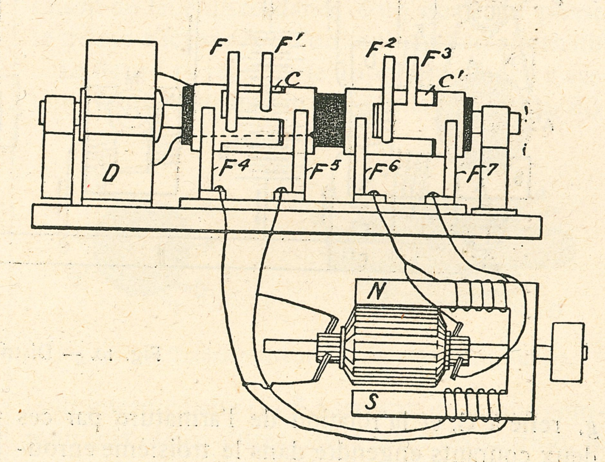


Fig. 7. — Alternateur Kennedy.

représente la figure 9. Dans cette disposition, le moteur D, mû par les courants alternatifs fournis par les fils M R, transforme ces courants en courants ondulatoires envoyés à la dynamo A, les uns directement par le commutateur redresseur R′,

[1] *La Lumière Electrique*, t. XXXIX, p. 205 et 269.

les autres des enroulements auxiliaires de D, par R et les balais F_6 F_7.

La dynamo A transforme ces courants ondulatoires ou périodiques en courants continus. Les courants ondulatoires qui excitent les inducteurs

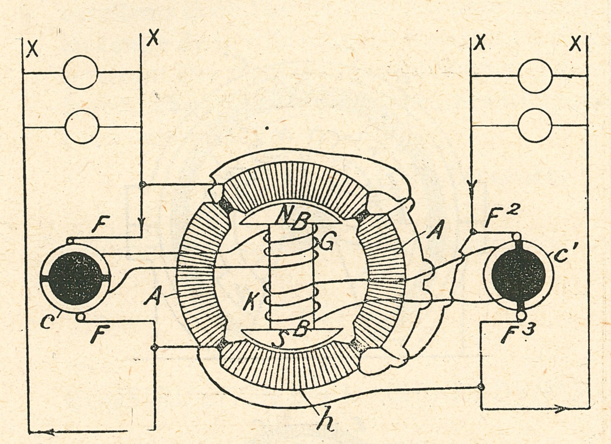


Fig. 8. — Génératrice Kennedy.

N S et l'armature A sont écartés d'un quart de phase, de sorte que le maximum de l'un coïncide avec les minima de l'autre, et que ces deux courants agissent comme les primaires d'un moteur-générateur. L'armature A porte un troisième enroulement relié au commutateur C_2, à balais N et P.

L'un des courants périodiques excite l'enroule-

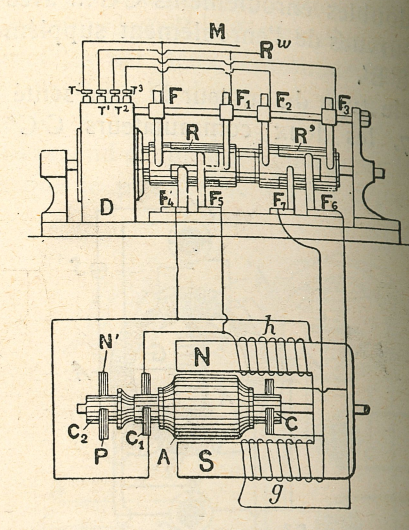


Fig. 9. — Moteur-transformateur Kennedy.

ment *b* de l'inducteur N S et le circuit de A, relié au commutateur C_1; l'autre excite l'enroulement

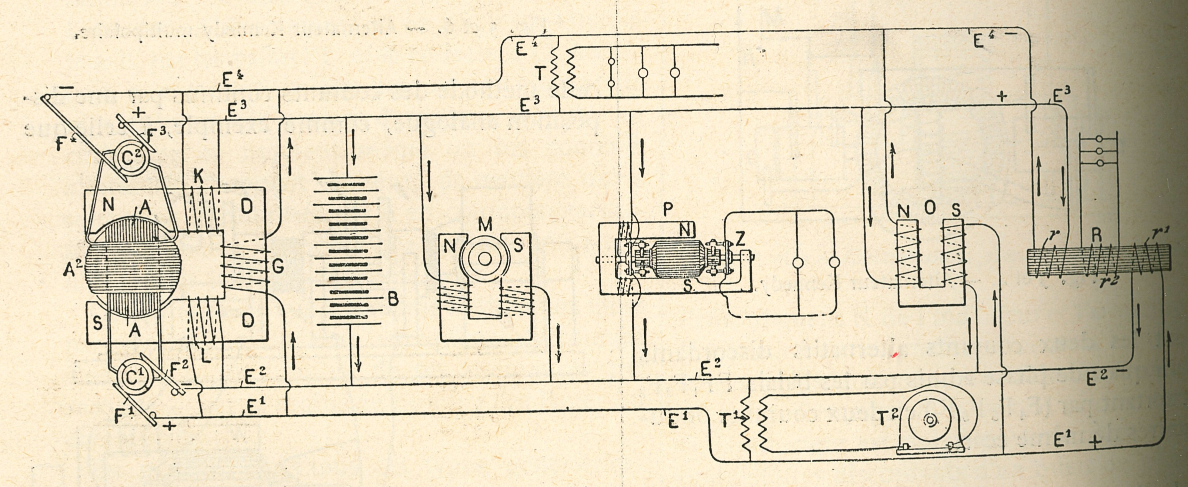


Fig. 10. — Distribution Kennedy.

g, relié à C, et la rotation de l'armature par ces deux courants engendre dans le troisième enroulement de A un courant continu qui peut être utilisé pour des lampes, par exemple.

Dans le système complet de distribution alternative représenté par la figure 10, l'armature A de l'alternateur générateur D a deux enroulements A_1 A_2, dont les courants sont rectifiés par les commutateurs C_1 C_2, et transformés en deux courants ondulatoires discordants d'un quart de phase, amenés par les balais (F_1 F_2), (F_3 F_4) au circuit (E_1 E_2), (E_3 E_4). Le balai positif F_1 du commutateur C_1 est relié au négatif F_4 de C_2 par l'enroulement auto-régulateur à gros fil G de l'inducteur D. Les enroulements K et L sont traversés

par un courant invariable, tandis que celui de G varie automatiquement suivant la charge du circuit E_2 E_3.

Les différents appareils, accumulateurs B, moteur M ou moteur générateur P, sont actionnés par les courants ondulatoires du circuit E_2 E_3 à peu près comme par un courant continu. Les courants du commutateur C passent dans ces

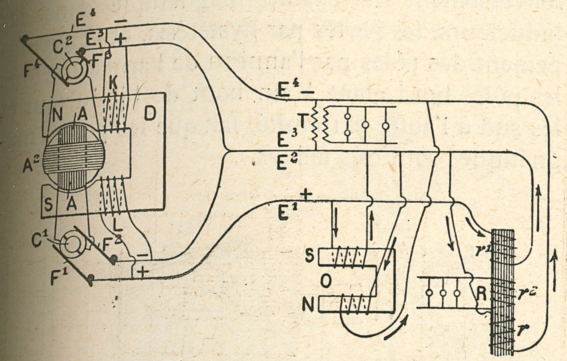


Fig. 11. — Distribution Kennedy à trois fils.

appareils par le trajet (F_1 G F_4 C_2 A_2 F_3 E_3, les appareils, puis E_2 F_2 C_1).

On voit que les appareils sont reliés entre eux en quantité ou en parallèle, et les enroulements de l'armature en série entre eux et avec le circuit extérieur, de sorte que les deux courants ondulatoires traversant ce circuit en série agissent sur les

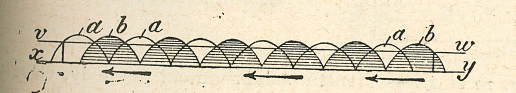


Fig. 12. — Action des courants Kennedy sur un électromoteur.

translateurs B M P... comme un courant continu. Le moteur-générateur P alimente par son courant continu de basse ou de haute tension les lampes à incandescence Z.

Les transmetteurs interposés entre deux fils seulement E_1 E_2 ou E_3 E_4 ne reçoivent qu'un seul courant ondulatoire ; tel est le cas du transformateur à circuit ouvert T, dérivé sur $E_3 E_4$, qui induit dans son circuit secondaire des courants alternatifs à tensions différentes de celles du courant ondulatoire. Ceux du transformateur T_1, dérivés sur E_1 E_2, font marcher l'alternateur T_2.

En O on a représenté une dynamo compound dont l'un des enroulements est relié à E_1 E_2 et l'autre au circuit E_3 E_4, de sorte que leurs courants ondulatoires les traversent non pas en série, mais en parallèle.

On peut aussi relier les transformateurs à la fois aux deux circuits (E_1 E_2), (E_3 E_4) par leurs

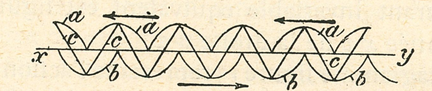


Fig. 13. — Action des courants Kennedy sur un transformateur.

deux primaires *r r'*, disposés, comme l'indique la figure, symétriquement de chaque côté du secondaire R, de manière que les courants ondulatoires les traversent en sens contraires et exercent, en

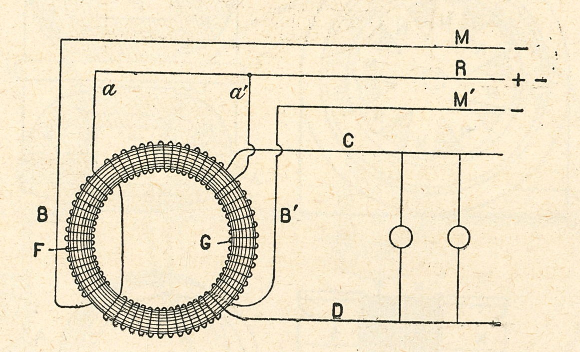


Fig. 14. — Transformateur Kennedy.

raison de leur discordance d'un quart de phase, le même effet sur r_2 qu'un seul courant alternatif.

La figure 11 représente l'application de ce système à une distribution à trois fils (E_1E_4), (E_2 E_3) le fil intermédiaire (E_2 E_3) servant de retour commun aux deux autres. Avec cette disposition, le troisième enroulement des inducteurs D est supprimé, et les balais F_2 F_3 sont reliés au fil intermédiaire.

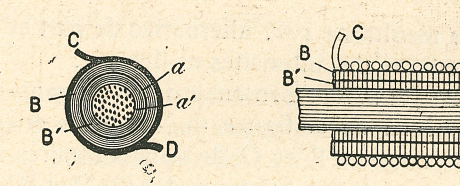


Fig. 15. — Transformateur Kennedy à circuit ouvert.

On ne peut pas, dans ce cas, employer les translateurs à enroulements simples (B M P) (fig. 10), ni charger des accumulateurs comme dans le sys-

tème précédent; il faut des translateurs à double enroulement, comme O R T.

On a représenté par le diagramme (fig. 12) l'action de deux courants ondulatoires *a* et *b*, écartés d'un quart de phase, sur un électromoteur ou sur un électro-aimant. Dans ce diagramme, l'intensité du courant invariable équivalent est figuré par l'ordonnée *x v* de la droite *v w*.

Le diagramme figure 13 représente l'action de ces mêmes courants sur un transformateur dont ils parcourent les deux primaires en sens opposés, de manière que ces deux enroulements produisent le même effet inducteur que le courant repré-

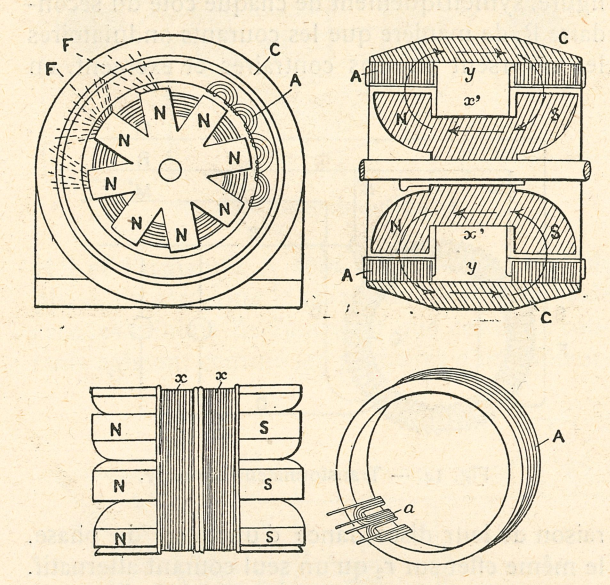


Fig. 16 à 19. — Dynamo Kennedy, vue par bout, coupe longitudinale et détail de l'induction mobile.

senté par la résultante *ccc*, alternative de part et d'autre de la ligne des intensités nulles *x y*.

Les figures 14 et 15 représentent le détail du transformateur spécial de la figure 10. Les deux enroulements primaires F et G, de sens contraires, reçoivent les courants ondulatoires des fils M et M' avec un seul retour R et un seul enroulement secondaire C D. Le transformateur représenté par la figure 15 est à circuit magnétique ouvert. Le noyau est constitué par un faisceau de fils de fer, autour duquel on enroule séparément les deux primaires *a*B, *a'* B', puis le secondaire C D à gros fils.

L'armature fixe A de la dynamo *Kennedy* représentée par les figures 16 à 19 est constituée par deux anneaux lamellaires sur lesquels sont enroulées les bobines *a a*... Le noyau de l'inducteur mobile multipolaire présente tous ses pôles nord à l'un des anneaux de l'armature et tous ses pôles sud à l'autre, avec deux enroulements *x y* entre ces pôles.

L'ensemble de la dynamo est enfermé dans une cuirasse en fer. On diminue, grâce à l'absence du renversement du champ magnétique dans les inducteurs, les pertes par hystérésis, et l'enveloppement des pôles par l'anneau de l'armature, tous les pôles nord étant à un bout de l'inducteur et les sud à l'autre extrémité, fait que les pertes magnétiques sont très faibles.

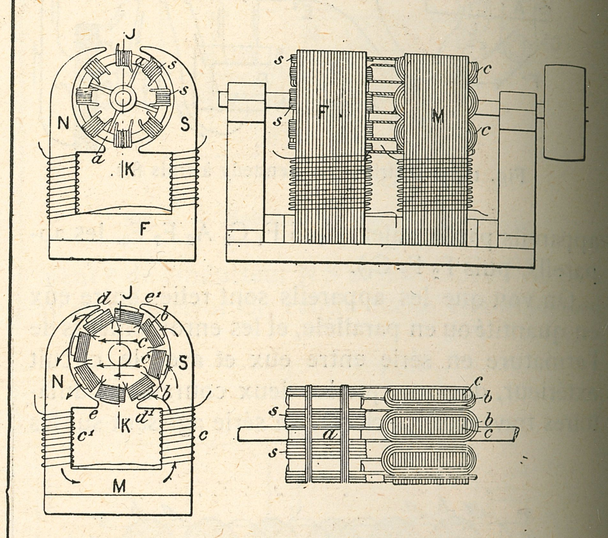


Fig. 20 et 21. — Transformateur-moteur Kennedy, élévation, détail de l'armature. — Fig. 22. et 23. — Transformateur-moteur Kennedy, vue par bout.

L'électromoteur alternatif de *M. Kennedy* représenté par les figures 20 à 23 se compose essentiellement de deux parties: 1° un moteur ordinaire disposé comme ceux pour courants continus à inducteurs lamellaires, mais sans commutateur, avec les extrémités des enroulements de l'armature séparées, de manière à pouvoir être facilement reliées à la seconde partie du moteur; 2° un transformateur à circuit magnétique presque fermé, dont le primaire est fixe, comme l'inducteur d'une dynamo ordinaire, et dont le secondaire, monté sur l'arbre du moteur, a autant de sections que son armature. Les enroulements secondaires sont disposés de manière que leur rotation ne produise pas d'induction, mais qu'il y ait un maximum

d'induction déterminé par le courant primaire alternatif.

L'inducteur lamellaire F porte deux enroulements excitateurs parcourus par des courants alternatifs de phases telles qu'elles y déterminent des alternances du champ magnétique en concordance avec celles des courants alternatifs de l'armature *a*. Cette armature, du type Gramme, a ses sections *s s s* reliées respectivement aux enroulements *b b b*... du secondaire mobile *c c c* du transformateur-moteur, dont le primaire a ses enroulements $c_1 c_1$ excités par un courant-moteur alternatif. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les courants induits dans le secondaire *c c* le sont uniquement par ceux du primaire M, et aucunement par la rotation des bobines secondaires enroulées de manière à ne pas couper les lignes de force du champ en *e d e' d'*.

Ces bobines sont au contraire soumises en plein à l'induction du circuit magnétique primaire alternatif M, dont les courants sont alternativement opposés de chaque côté du plan J K. La même distribution des courants se retrouve dans l'armature *a*, dont les bobines sont reliées à celles du secondaire *c*. Dans chaque moitié de l'armature, les courants sont donc opposés de manière qu'ils produisent les mêmes effets moteurs que des courants continus.

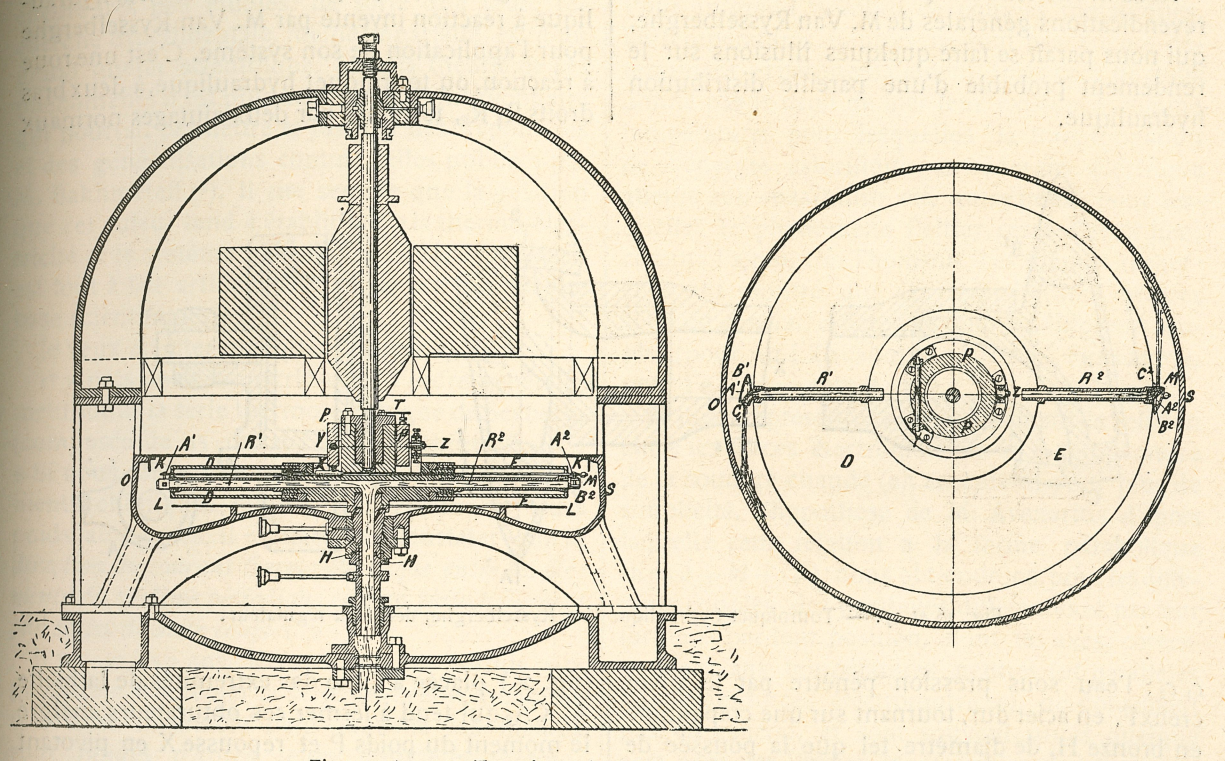


Fig. 24 et 25. — Tourniquet hydraulique Van Rysselberghe.

Nous terminerons cet article par la description d'un système de distribution d'apparence paradoxale, malgré la célébrité de son inventeur.

Le principe de la nouvelle distribution de *M. Van Rysselberghe* consiste à distribuer l'électricité par une série de petites dynamos actionnées sur place par une canalisation hydraulique à haute pression, parallèle à la canalisation électrique :

« Ce système a, dit M. Van Rysselberghe, l'avantage de rendre les dimensions de la canalisation électrique indépendantes de l'intensité du courant ou de sa dépense d'électricité, parce qu'il suffit, pour maintenir la force électromotrice invariable sur tous les points de la canalisation, de multiplier le nombre des générateurs et de les rapprocher proportionnellement au travail de la canalisation.

« Il est vrai que ce système exige une canalisation hydraulique en plus de la canalisation élec-

Il faut laisser les électrodes immergées pendant cinq heures pour obtenir l'effet maximum ; les piles obéissent plus rapidement à l'action de la lumière quand elles sont récemment construites, mais la force électromotrice finale est toujours la même.

L'effet résiduel disparaît lentement, mais on peut le supprimer rapidement en fermant la pile sur un daniell, l'électrode sensible étant reliée avec un pôle positif.

La valeur de la force électromotrice est approximativement proportionnelle à la racine carrée de l'intensité de la lumière incidente.

Un des effets les plus curieux qu'on ait observés est que ces piles perdent souvent leur sensibilité au bout de quelque temps, et qu'on peut la leur rendre en donnant une légère secousse à la table sur laquelle elles reposent. Quand elles sont sensibles, le même traitement leur fait perdre leur sensibilité, et on peut répéter l'expérience indéfiniment. Une étincelle électrique éclatant dans le voisinage restaure également la sensibilité ; le même effet a été observé avec un excitateur de Hertz placé à 81 pieds de la pile.

La suppression de la sensibilité a été réalisée accidentellement au moyen de fortes étincelles provenant d'une bouteille de Leyde placée au voisinage de la pile. L'auteur donne à ces piles le nom de « piles d'impulsion » ; l'état impulsif se manifeste au bout d'un temps qui varie de quelques jours à plusieurs semaines, si on ne change pas l'alcool.

L'auteur a prouvé que ces effets ne sont pas dus à l'établissement ou à la rupture d'un contact et on ne peut guère l'expliquer que par une modification de l'état moléculaire du liquide ou de la couche qui est en contact avec lui. Voici un exemple de l'effet des étincelles puissantes : une boîte de piles était restée dans une armoire, environ à six pieds de distance d'une machine de Holtz en action ; presque toutes étaient devenues insensibles et on ne put leur rendre leur sensibilité plusieurs heures après que la machine eut cessé de fonctionner.

On fait souvent naître l'état impulsif en enlevant la lame sensible de l'alcool, la plongeant dans certains liquides et la replaçant ensuite dans l'alcool, ce qui montre que les résultats ne sont pas dus à l'électrisation induite dans le verre de la pile et à une action de la lumière sur cette électrisation.

L'auteur décrit en détail quelques expériences dans lesquelles une de ces piles était reliée en série à un daniell et à une résistance convenable qui permît de mesurer la force électromotrice entre les électrodes de la pile photo-électrique à l'aide d'un électromètre. La déviation était beaucoup plus faible quand la plaque sensible était reliée au zinc du daniell que quand elle était reliée au cuivre ; l'auteur en déduit qu'on peut expliquer l'effet de la lumière sur les piles en admettant qu'elle réduit la quantité d'oxygène qui se trouve à la surface des électrodes.

L'auteur s'occupe ensuite « des piles à sélénium » (selenium cells) qu'il serait préférable d'appeler « conducteurs à sélénium » ou « résistances à sélénium » (1). L'année dernière il avait essayé de construire des piles proprement dites, c'est-à-dire des appareils donnant une force électromotrice quand on les exposait à la lumière. Les meilleurs effets ont été obtenus avec des électrodes d'aluminium dont une était couverte d'un côté de sélénium et chauffée graduellement jusqu'à apparition d'une teinte brune. Plongées dans l'alcool, elles se couvraient d'un dépôt gélatineux ; après quelques essais l'acétone a donné les meilleurs résultats. On n'a pas encore pu observer d'effets d'impulsion avec ces piles. L'électrode éclairée devient fortement négative ; les piles sont très sensibles à tous les rayons du spectre ; le maximum de sensibilité correspond au jaune voisin du vert.

Une pile exposée à la lumière pendant plusieurs heures en circuit ouvert, puis maintenue dans l'obscurité jusqu'à ce que sa force électromotrice ait disparu, ne donnera qu'une force égale au cinquième de la force primitive ; une nuit de repos lui rend sa sensibilité première. Toutefois, si la pile était en circuit fermé pendant l'éclairement, on ne pourra pas obtenir plus de la moitié de la force électromotrice.

En reliant une de ces piles à un daniell, on a observé les mêmes effets qu'avec une pile à électrodes d'étain.

L'auteur exécute plusieurs expériences, une en particulier analogue à celle de M. Shedford Bedwell (2) ; mais ici la mise en marche de la sonnerie

(1) *La Lumière Electrique*, t. XXIX, p. 293. Nous avons employé le terme plus vague de « récepteur ».
(2) *La Lumière Electrique*, loc. cit.

est produite par le mouvement de l'aiguille de l'électromètre, qui met une pile dans le circuit.

L'auteur appelle l'attention sur trois problèmes à la solution desquels pourraient contribuer ces piles photo-électriques. Le premier est la construction d'un photomètre véritablement scientifique destiné à des comparaisons quelconques. On produirait de chaque lumière un spectre étendu et on comparerait les intensités des différentes portions au moyen de piles, les intensités étant proportionnelles au carré des forces électromotrices observées. Le principe du cercle chromatique de Newton pourrait alors être appliqué à la détermination de l'intensité résultante de la source.

Le second problème est celui de la photographie à distance, dont on ne voit guère de solution jusqu'à présent. Le troisième est la transformation de l'énergie solaire rayonnante en travail utile.

C. R.

L'électricité et son trajet : du plein au vide par M. William Crookes (*suite*) (1).

Voyons d'abord l'hypothèse de l'électrode matérielle radiante. On sait que certains métaux tels que l'argent, l'or et le platine, quand ils servent d'électrodes négatives dans le vide, se volatilisent plus ou moins rapidement et recouvrent les objets voisins d'un voile très uniforme. C'est de là que vient la méthode bien connue de préparation électrique de petits miroirs. L'aluminium, pourtant, semble exempt de cette volatibilité et c'est pour cette raison entre autres qu'on s'en sert habituellement comme électrode.

Si donc les phénomènes des vides extrêmes étaient dus à l'électrode matérielle, plus le métal employé serait volatil, plus grands devraient être les effets (2).

Dans ce tube (fig. 15) (P = 0,00068 mm. ou 0,9 M) voici deux électrodes négatives A A' placées de manière à projeter deux taches lumineuses sur le verre phosphorescent du tube. L'une des électrodes A' est en argent vierge, métal volatil, l'autre en aluminium, non volatil pratiquement.

L'électrode matérielle en argent devrait émettre une certaine quantité de matière et celle en aluminium pratiquement aucune, mais vous voyez que la phosphorescence est identique dans les deux cas. Si la matière de l'électrode était l'agent actif de la radiation une phosphorescence plus intense se produirait au pôle le plus volatil.

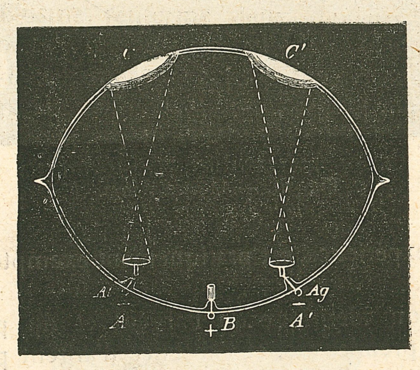


Fig. 15. — P = 0,00068 mm. = 0,9 M.

Le dessin d'un autre appareil d'expérience est représenté (fig. 16). Une ampoule de verre allemand en forme de poire a vers sa plus petite extrémité un pôle négatif concave A d'argent vierge monté de manière à donner son image inverse à l'autre bout du tube. En avant du pôle il y a un écran de mica avec un petit trou au centre de façon à ne laissé passer qu'un mince faisceau de rayon pour former en D la tache brillante à l'autre côté de l'ampoule.

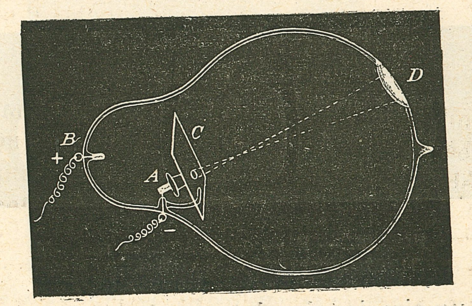


Fig. 16. — P = 0,00068 mm. = 0,9 M.

La raréfaction est à peu près la même que dans

(1) *La Lumière Électrique* des 31 janvier et 7 février 1891.
(2) Dans un important mémoire lu à la Société Royale, le 20 novembre 1890, par les professeurs Liveing et Dewar, sur les poussières métalliques finement divisées et semées à la surface de diverses électrodes dans des tubes à vide, on trouve que la poussière suspendue dans le gaz et cependant fine n'agit pas comme la matière gazeuse ; par la décharge électrique elle ne devient pas lumineuse en donnant son spectre caractéristique, et elle est au contraire entraînée avec une rapidité extrême hors du parcours de la décharge.

le tube précédent, et l'on a fait passer le courant durant plusieurs heures de façon à volatiliser une certaine portion de la matière de l'électrode; en l'examinant on voit que l'argent s'est disposé au voisinage immédiat du pôle, tandis que la tache D, qui n'a cessé d'être phosphorescente pen-

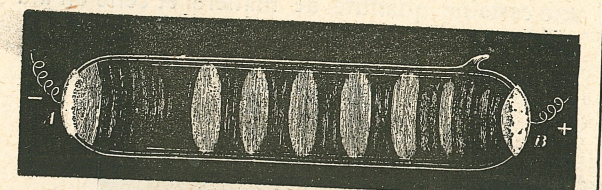


Fig. 17. — P = 2,0 mm.

dant l'expérience, est pratiquement exempte d'argent.

L'action identique de l'argent et du platine dans le premier cas, et l'absence d'argent projeté dans le second sont suffisantes pour condamner l'hypothèse du Dr Puluj, puisque la phosphorescence est indépendante de la matière de l'électrode négative. J'ai devant moi une série de tubes qui, à mon sens, mettent la question hors de doute. Ces tubes n'ont pas à l'intérieur d'électrodes qui soient avec les molécules du résidu gazeux; avec eux je vais faire quelques-unes des plus frappantes expériences sur la matière radiante sans aucun pôle métallique intérieur.

Dans ces tubes les électrodes sont en argent, et à l'extérieur le courant agit en passant au travers du verre. Le premier tube contient seulement un gaz légèrement raréfié pour les stratifications;

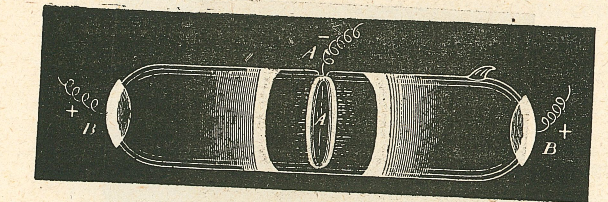


Fig. 18. — P. = 0,076 mm. = 100,0 M.

c'est un simple tube de verre fermé avec feuille d'argent déposé extérieurement à chaque extrémité, et raréfié à une pression de 2 millimètres. Au passage du courant, on voit (fig. 17) que les stratifications bien que faibles sont parfaitement formées.

Le tube suivant (fig. 18), présente l'espace sombre. C'est comme le premier un cylindre de verre fermé, mais fermé avec un bourrelet central formant une sorte de pli qui divise presque le tube en deux compartiments. Ce pli argenté extérieurement forme un écran de verre creux qu'on peut extérieurement relier électriquement, il constitue le pôle négatif A. Les deux extrémités du tube, argentées extérieurement, constituent les pôles positifs B B. En faisant passer le courant, l'espace sombre est nettement visible. La pression est ici de 0,076 mm. ou 100 M.

Le degré suivant, qui comporte la matière plus raréfiée, regarde la phosphorescence. Le tube en forme d'œuf de la figure 19 contient de l'yttria pure et quelques rubis. L'électrode positive est en bas du tube, sous la matière phosphorescente, la

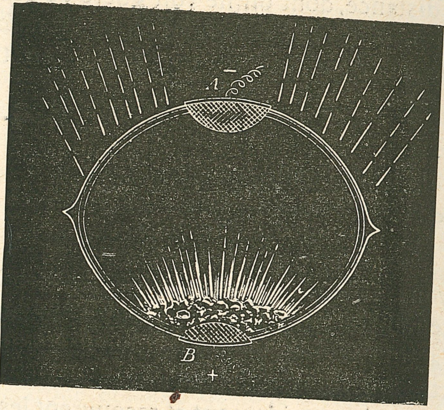


Fig. 19. — P. = 0,00068 mm. = 0,9 M.

négative au sommet du tube. On voit la belle phosphorescence de l'yttria et des rubis sous le bombardement moléculaire et à la pression interne de 0,00068 mm. ou 0,9 M.

On peut également projeter l'ombre d'un objet dans l'ampoule, sur la paroi opposée, en employant le pôle externe. Une croix de mica est soutenue au milieu de l'ampoule (fig. 20), une petite plaque argentée A d'un côté de l'ampoule est reliée au pôle négatif de la bobine d'induction (une autre B au sommet du tube communique au pôle positif), le côté opposé de l'ampoule brille d'une lueur phosphorescente sur laquelle l'ombre de la croix semble découpée. La pression interne est de 0,0068 mm. ou 0,9 M.

En passant au phénomène qui suit je vais montrer la production d'énergie mécanique dans un tube sans pôles extérieurs. C'est ce qu'on voit figure 21; le tube contient une roue légère d'aluminium supportant des ailettes de mica. Les pôles A et B sont dans une situation telle que le foyer moléculaire tombe d'un même côté seulement des ailettes. L'ampoule est placée dans la lanterne de projection; quand le courant induit passe, la roue

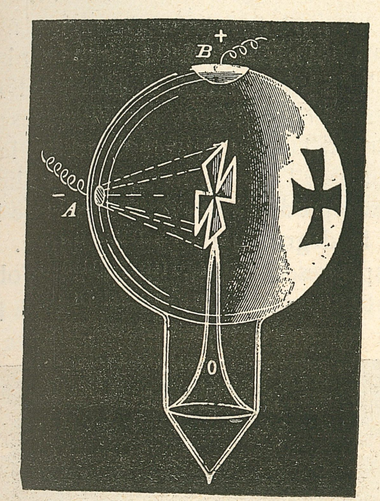


Fig. 20. — P = 0,00068 mm. = 0,9 M.

tourne rapidement et change de sens en renversant le courant.

L'appareil que voici (fig. 22) montre que les molécules gazeuses résiduelles amenées à un foyer,

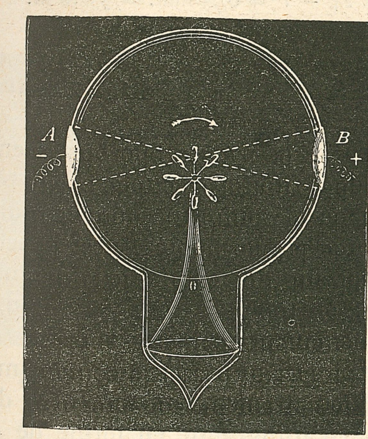


Fig. 21. — P = 0,001 mm. = 1,3 M.

développent de la chaleur. L'appareil se compose d'un tube de verre, d'une ampoule soufflée à une extrémité et d'un petit morceau de charbon de bois fixé en c; le vide y est fait à 0,00076 mm. ou 0,1 M. L'électrode négative est faite en recouvrant d'argent l'extérieur de l'ampoule de manière que le foyer des rayons tombe sur le charbon. L'électrode positive B est au bout opposé du tube, à l'extérieur. Je fais passer le courant et l'on peut voir de près les étincelles brillantes du charbon porté à l'incandescence sous l'influence du courant moléculaire.

Vous avez vu ainsi que tous les effets de la

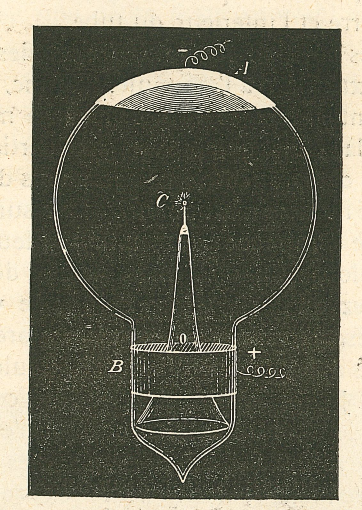


Fig. 22. — P = 0,000076 mm. = 0,1 M.

vieille matière radiante peuvent être obtenus dans des tubes ne contenant pas d'électrodes métalliques volatilisables. On peut suggérer que les parois du tube dont l'extérieur est en contact avec les pôles deviennent dans ce cas des électrodes, et que le verre lui-même peut être arraché et projeté et produire les effets en question. C'est un argument sérieux qu'on peut heureusement contrôler par expérience. Dans le tube que voici, fi-

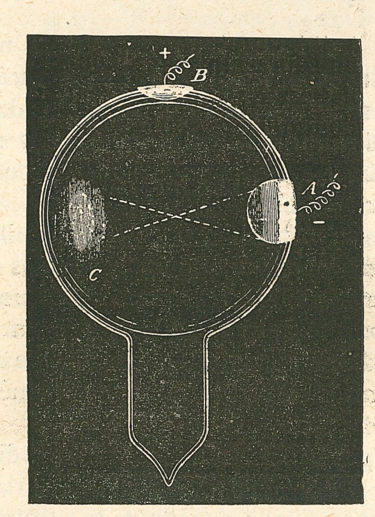


Fig. 23 — P. = 0,00068 mm. = 0,9 M.

gure 23 (P = 0,0068 mm. ou 0,9 M), l'ampoule est en verre de plomb, à phosphorescence bleue sous l'influence du bombardement moléculaire. A l'intérieur j'ai peint d'une couche épaisse d'yttria toute la partie correspondant au pôle négatif A, de manière à en interposer une couche entre le verre et l'intérieur du tube.

Les pôles positif B et négatif A sont des disques d'argent extérieurs à l'ampoule. Si donc, des particules sont arrachées et projetées de manière à produire la phosphorescence, ces particules ne seront pas des particules de verre, mais d'yttria et la tache de lumière phosphorescente *c* sur la paroi opposée de l'ampoule ne sera pas du bleu sombre du verre plombeux, mais du jaune d'or de l'yttria. Vous voyez qu'il n'y a rien de tel; le verre est phosphorescent avec sa couleur bleue ordinaire et il n'y a pas apparence qu'aucune particule d'yttria le frappe. Je pense que, témoins de ces effets, vous conviendrez que j'ai raison de m'en tenir à ma propre théorie que les phenomènes sont dus à la matière radiante des molécules gazeuses restantes et nullement à l'arrachement de particules de l'électrode négative.

Phosphorescence dans les vides extrêmes.

J'ai déjà établi que les mouvements moléculaires rendus visibles dans les tubes raréfiés ne sont pas les mouvements des molécules dans leur état ordinaire, mais la résistance de ces mouvements ordinaires ou cinétiques et du mouvement produit par l'entraînement électrique.

L'expérience prouve que dans de pareils tubes certains molécules peuvent traverser plus de cent fois le libre parcours *moyen*, avec une vitesse augmentée à proportion, avant de se rencontrer. En réalité, le libre parcours moléculaire varie dans un seul et même tube et pour un seul et nême degré de raréfaction.

Beaucoup de corps, tels que le rubis, le diamant, l'émeraude, l'alumine, l'yttria, la samaria et un grand nombre d'oxydes terreux, de sulfures, sont phosphorescents dans le vide sur le parcours du courant des molécules électrisées issues du pôle négatif.

La composition du résidu gazeux n'affecte pas la phosphorescence; ainsi la terre d'yttria est phosphorescente dans le vide sur l'air, l'oxygène, l'azote, l'acide carbonique, l'hydrogène, l'iode, le soufre, le mercure,

Avec l'yttria dans le tube à vide, la phosphorescence est maxima, ainsi que je l'ai déja dit, au bord de l'espace sombre. Le diagramme figure 24 indique approximativement le degré de phosphorescence aux divers endroits d'un tube à la pression interne de 0,2g mm. ou 330 M. On voit en haut la position des pôles positif et négatif; ce dernier avec la limite de l'espace sombre figuré par une ligne ponctuée *c*. La courbe D E F indique les intensités relatives de la phosphorescence aux différentes distances du pôle négatif et la position à l'intérieur de l'espace obscur où la phosphorescence ne se produit pas; la hauteur de la courbe marque le degré de phosphorescence. Les effets de phosphorescence les plus nets s'obtiennent avec un tube assez large pour que les parois ne

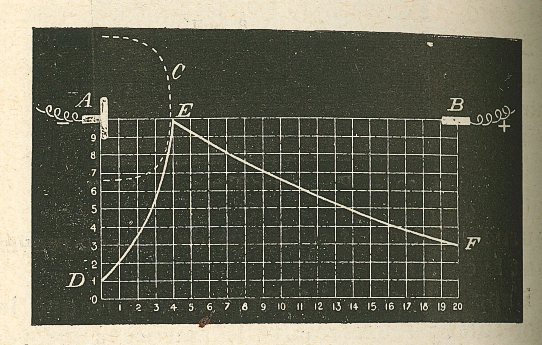


Fig. 24. — P = 0,25 mm. = 330,0 M.

rencontrent pas l'espace sombre tandis que la matière en expérience est placée à la limite de cet espace.

Jusqu'ici j'ai parlé de la phosphorescence des corps placés près du pôle négatif, mais j'ai observé par de nombreuses expériences que les corps deviennent phosphorescents au contact immédiat du pôle négatif. Ce n'est alors qu'un phénomène passager et qui cesse dès que la raréfaction atteint un degré suffisant.

L'expérience est presque impossible à montrer à un auditoire et je me contenterai de la décrire. Un pôle plat en aluminium, en forme de disque et peint d'yttria phosphorescente, est disposé à chaque extrémité d'un tube en U (fig. 25). Lorsque la raréfaction approche de 0,5 mm., la surface du pôle négatif A devient faiblement phosphorescente.

En continuant de faire le vide, la lueur diminue rapidement, non seulement d'intensité mais aussi d'étendue, en se retirant de plus en plus à partir des bords jusqu'à ce qu'il n'y ait plus qu'un point

brillant dans le centre. Ce fait n'est pas en faveur d'une théorie récente que la décharge abandonne d'autant plus que le centre de la raréfaction est

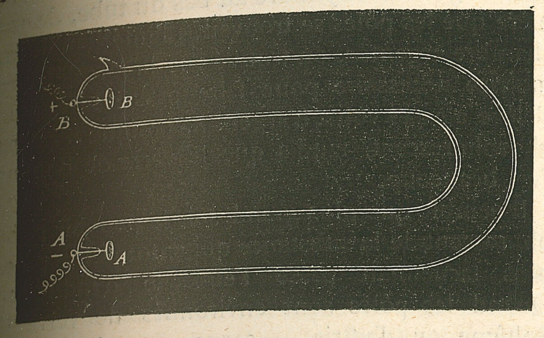


Fig 25

plus haut et que la décharge passe uniquement des bords aux parois du tube.

Si la raréfaction est poussée davantage, au point où la surface du pôle négatif cesse d'être lumineuse, la matière sur le pôle positif B manifeste la phosphorescence, avec accroissement d'intensité jusqu'à ce que le tube cesse d'être conducteur, le plus grand éclat étant tout voisin de ce degré de raréfaction.

L'explication probable est que les molécules errantes que j'introduis dans la prochaine expérience arrivent dans la sphère d'influence du pôle positif, s'y précipitent violemment et provoquent

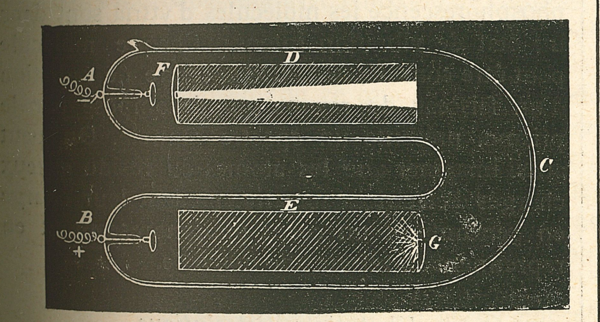


Fig. 26. — P = 0,076 mm. = 100,0 M.

la phosphorescence de l'yttria en perdant leur charge négative.

Molécules libres et errantes

Dans l'espace de temps qui me reste aujourd'hui je ne puis aborder la toutes les expériences faites pour élucider cette question; aussi vais-je en même temps vous présenter un appareil qui montre clairement la cause de la phosphorescence au pôle positif. La figure 26 représente ce tube, mais je vais d'abord expliquer l'effet à obtenir avant d'essayer l'expérience.

Le tube est en forme d'U, avec bornes A B aux extrémités; D et E sont deux écrans de mica couverts de poudre phosphorescente, F et G deux autres avec une petite fente en avant ne laissant passer qu'un rayon étroit de molécules chargées. La raréfaction n'est d'abord poussée qu'à la pression de 0,076 mm. ou 100 M, et l'image sur l'écran D est très nette et faiblement divergente, tandis qu'il n'y a pas trace de phosphorescence sur l'écran E dans l'autre branche du tube. Je pousse maintenant la raréfaction au voisinage extrême du vide non conducteur (0,000076 mm ou 0,1 M) et le phénomène change.

La ligne lumineuse initiale D s'étale et devient

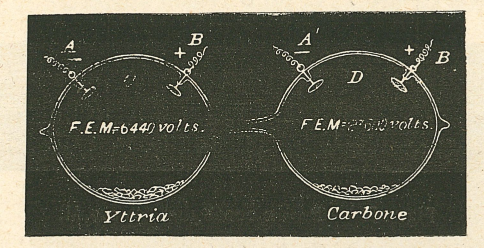


Fig. 27. — P = 0,02 mm. = 26,0 M.

instable, tandis qu'à la fente G une phosphorescence assez nette se manifeste à l'entrée sur le second écran E. Cette lueur diverge beaucoup plus que le courant moléculaire sur le premier écran au premier degré de raréfaction. Ceci ne peut se produire qu'autant que les rares molécules échappées de l'ensemble du courant et dépassant le coude ne rencontrent pas d'obstacle latéral, mais errent plus au loin dans le tube et se comportent tout autrement que les molécules ordinaires dans un vide moins élevé.

Résistance des vides extrêmes.

Je ne ferai qu'aborder ce sujet; il offre un profond intérêt et je lui ai récemment consacré beaucoup de temps; j'espère bientôt publier complètement les résultats obtenus.

Le passage du courant au travers du vide dans un tube dépend beaucoup de la matière du tube et de la matière que y est enfermée. Pour un degré de raréfaction donné et une même distance

d'électrodes la force électromotrice nécessaire pour forcer le courant dans le tube peut varier de 3 000 volts à 20 000 volts suivant la matière employée.

En voici un frappant exemple: le tube de la figure 27 est double et les deux parties communiquent par une ouverture étroite, la pression y est la même (P = 0,02 mm. ou 26 M). L'une des parties contient de l'yttria phosphorescente, l'autre du charbon divisé. Je mets d'abord le tube à yttria en relation avec la bobine et je place parallèlement en circuit un micromètre à étincelle. Pour commencer, les boules du micromètre sont écartées de 1 mm. Pour franchir 1 mm d'air, il faut une force électromotrice de 920 volts; par conséquent telle est différence de potentiel aux bornes du tube à yttria, et vous voyez qu'elle ne suffit pas à forcer le courant au travers du tube.

Maintenant, j'écarte graduellement le micro-

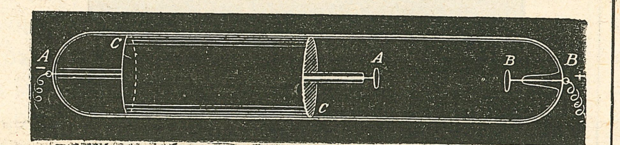


Fig. 28. — P = 0,00068 mm. = 0,9 M.

mètre jusqu'à ce que l'étincelle passe dans le tube et rende l'yttria phosphorescente; l'intervalle est de 7 millimètres, correspondant à 6440 volts. Ensuite je relie la bobine au tube contenant le charbon et je recommence l'expérience; on voit que l'intervalle atteint 30 millimètres (correspondant à 27 600 volts) avant que le courant franchisse le tube. Suivant que le tube contient de l'yttria ou du carbone dans le tube à vide, il y a 21 160 volts de différence dans la force électromotrice nécessaire pour faire passer la décharge entre les électrodes.

Je désire montrer une autre expérience pour donner une idée plus complète de la résistance. L'idée qui se présente en effet d'elle-même est que les différences possibles dans la conductibilité de l'ampoule peuvent influencer les résultats précédents.

Voici (fig. 28) un long tube cylindrique de verre de Bohême phosphorescent contenant entre les deux électrodes A B un cylindre plus court de verre *c c*, argenté intérieurement; la pression dans ce tube est de 0,00068 mm. ou 0,9 M. Actuellement le cylindre argenté est à un bout du tube hors du parcours de la décharge, qui est entourée de verre phosphorescent; la force électromotrice nécessaire pour la faire passer est de 1 380 volts. Faisant glisser le cylindre au bas du tube, de manière que les pôles se trouvent à l'intérieur d'une chambre argentée, on trouve que la force électromotrice nécessaire pour faire passer le courant s'élève à 6 440 volts. L'argent métallique n'est pas phosphorescent, tandis que le verre de Bohême l'est beaucoup.

Il semble que plus grand soit le pouvoir phosphorescent de la substance qui entoure les pôles, plus facilement passe l'étincelle d'induction. Quand les pôles sont environnés de verre de Bohême ou d'yttria — corps mauvais conducteurs et phosphorescents, — l'étincelle induite passe facilement; dès qu'on entoure les pôles d'un corps conducteur non phosphorescent, elle refuse de passer.

D'où vient la phosphorescence?

Je voudrais vous faire part d'une question qui a occupé ma pensée depuis un certain temps. D'où vient la phosphorescence de l'yttria et des autres corps phosphorescents sous le bombardement moléculaire?

Jusqu'à présent, j'ai constaté que cette phosphorescence est un attribut des corps mauvais conducteurs seuls. On sait que dans l'acte de la phosphorescence les molécules d'yttria sont dans un état de vibration intense. Chaque molécule peut être considérée contre le centre de radiation d'un faisceau de rayons qui, décomposé par le prisme, présente un spectre cannelé. On peut aussi imaginer que les atomes du résidu gazeux chargés d'électricité négative perdent leur charge en rencontrant un corps phosphorescent et en reprennent au retour une nouvelle.

L'hypothèse électrolytique.

Il y a certaines raisons en faveur de l'hypothèse électrolytique sur le passage de l'électricité au travers des gaz raréfiés. Ceci a été habilement soutenu par le professeur Schuster dans une lecture à la Société royale, le 20 mars 1890 [1].

Une molécule de gaz hydrogène, par exemple, peut se composer d'un groupe d'atomes ayant les uns une charge propre d'électricité négative, les autres une charge équivalente d'électricité positive. Ces atomes sont chargés aussi d'une charge égale d'électricité positive ou négative, qu'ils emportent comme un navire porte sa cargaison. Nous n'avons pas à nous occuper de l'électricité inhérente — dont nous ne savons rien, — mais seulement de la charge ou cargaison supplémentaire.

[1] *Royal Society's proceedings*, t. XLVII, p. 526.

Considérons une molécule d'hydrogène au voisinage du pôle négatif dans un tube à vide; je fais passer le courant, et les atomes de la molécule d'hydrogène sont entraînés. L'atome positif est attiré vers le pôle négatif, où la violence du choc ou la décharge électrique se manifestent avec émission de lumière. La couche lumineuse interne qui est au voisinage immédiat de l'électrode négative est due par conséquent aux atomes positifs tombant sur le pôle négatif, et non pas, comme la lueur limitant l'espace sombre, aux atomes qui s'en écartent. D'un autre côté, l'atome négatif est repoussé violemment du pôle négatif, en vertu de la répulsion mutuelle entre corps pareillement électrisés, avec une force variable suivant le degré d'électrisation et de vide; plus le vide est parfait, plus grande est la vitesse, les atomes allant en ligne droite jusqu'à la rencontre d'un obstacle. L'obstacle peut être une file de molécules électrisées positivement depuis le pôle positif; les deux espèces d'atomes se déchargent alors mutuellement avec émission de lumière. Ce phénomène s'observe au bord de l'espace sombre quand le vide est modéré. Autrement l'empêchement peut provenir de ce que le vide est si élevé que les atomes du gaz présents sont trop rares pour former une file continue. (On ne voit pas *pourquoi* le vide parfait ne serait pas conducteur, mais le fait lui-même est hors de doute. Il tient probablement à l'impossibilité où sont les atomes électrisés de s'écarter des pôles),

L'obstacle encore peut être un corps phosphorescent comme l'yttria. Dans ce cas, les atomes électrisés négativement se déchargent au contact de l'yttria, dont les atomes — à la façon peut-être des résonnateurs de Herz — vibrent en se chargeant et se déchargeant 550 billions de fois par seconde et produisent dans l'éther des ondes d'environ 5,74 dix-millionièmes de millimètre et dans l'œil la sensation d'une lumière jaune.

Il n'est pas nécessaire de supposer qu'un nombre pareil d'atomes d'hydrogène arrivent à l'yttria dans une seconde (bien qu'à un vide aussi élevé il y ait assez d'atomes dans l'ampoule). Il suffit qu'une succession de chocs, sans rhytme nécessaire, frappe l'yttria de manière à la mettre en vibration, comme des coups espacés frappés sur une cloche lui font rendre un son.

Dans un vide modéré, peu d'atomes peuvent s'échapper librement de l'ensemble, et ceux-ci même arrivant sur l'yttria avec une vitesse réduite, n'y provoquent qu'une faible phosphorescence [1], qui est complètement éclipsée par celle plus intense du résidu gazeux.

Lorsque le vide augmente, il y a de plus en plus d'atomes libres, dont la vitesse est aussi plus grande; la phosphorescence augmente d'intensité. Avec un bon vide, la plupart des atomes frappent l'yttria; leur vitesse augmente et leur excitation rhytmique atteint son maximum.

L'espace sombre dans la vapeur de mercure.

En appliquant l'hypothèse électrolytique, j'ai employé comme exemple le résidu gazeux de

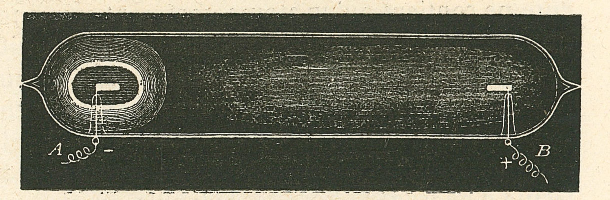


Fig. 29

l'hydrogène qu'on sait un gaz diatomique. J'ai observé, cependant, le phénomène de l'espace sombre, etc., dans la vapeur de mercure qui est monoatomique. Ce résultat important m'a conduit à étudier patiemment la question et vous voyez le résultat d'une expérience (fig. 29).

Le tube est muni d'électrodes d'aluminium et disposé de manière que l'étincelle d'induction passe pendant que le vide se fait afin d'extraire les gaz occlus. Une fois arrivé au plus haut vide que l'on puisse obtenir, le tube est rempli de mercure pur en élevant le réservoir; en chauffant, tout le contenu du tube se distille et s'échappe par les tubes de chute de la pompe qui fonctionne en même temps.

[1] Cette faible phosphorescence, dans un vide modéré, peut être mis en évidence à l'aide du phosphoroscope électrique décrit dans mon mémoire de 1887 à la *Royal Institution*.

Tout le mercure ayant ainsi bouilli dans le vide, sauf un petit résidu condensé au sommet du tube, les résultats observés sont les suivants : A froid, l'étincelle d'induction refuse de franchir le tube; en le chauffant légèrement avec un brûleur à gaz, le courant passe et l'espace sombre est nettement visible.

En continuant de chauffer de manière à volatiliser les gouttes de mercure des parois, le tube entier se remplit d'une lueur phosphorescente verte; l'espace sombre devient de plus en plus restreint et finalement le pôle négatif devient lumineux.

En laissant le tube se refroidir, les mêmes phénomènes se suivent en sens inverse ; le halo lumineux s'étend, laissant l'espace sombre entre lui et le pôle et cet espace devient d'autant plus grand que le tube est plus froid. Le mercure se condense sur les parois, la phosphorescence verte devient de plus pâle en plus pâle jusqu'à ce qu'enfin l'étincelle de la grosse bobine refuse de passer.

A première vue, le résultat semble fatal à l'hypothèse électrolytique, car si la molécule de mercure ne contient qu'un atome, comment pouvons-nous parler de séparation entre les atomes positifs et négatifs par l'entraînement électrique? Il faut pourtant se souvenir qu'on est encore absolument ignorant de la masse absolue d'un élément quelconque. Tout ce qu'on peut dire, c'est que la molécule d'hydrogène libre se dédouble en se combinant chimiquement avec d'autres éléments, tandis qu'une molécule de mercure libre ne se sépare pas en formant l'un des composés connus du mercure; l'atome physique de l'hydrogène se comporte comme formé de deux groupes séparés et celui du mercure comme formé d'un groupe unique.

Les chimistes sont convenus, pour plus de simplicité et pour faciliter les calculs chimiques, de réduire les unités au dernier terme évitant les fractions; on peut dire, par conséquent, que les atomes de la molécule d'hydrogène libre agissent chimiquement comme deux groupes distincts, ayant chacun le poids minimum 1, tandis que dans la molécule de mercure libre les atomes agissent comme un groupe unique de poids relatif 200. Mais aucun chimiste ne sait à quel nombre d'atomes 1 et 200 correspondent respectivement.

Pour montrer combien la chimie et l'électricité se tiennent, je puis observer ici que les dernières théories chimiques considèrent comme nécessaire une pareille division de la molécule en groupes d'atomes électro-positifs et électro-négatifs pour une explication conséquente de la genèse des éléments. Ceci est si important qu'on m'excusera de faire une digression dans le domaine de la chimie théorique.

Genèse des éléments.

On reconnaît aujourd'hui généralement qu'il y a plusieurs degrés dans la hiérarchie des éléments et qu'en sus des groupes définis d'éléments chimiques il y a des sous groupes; on leur a donné le nom de meta-éléments. La genèse originelle des atomes suppose l'action dans le temps et l'espace de deux formes de l'énergie, l'une agissant uniformément et suivant une diminution continue de la température, l'autre avec des périodes cycliques de diminution et d'augmentation intimement liées à l'énergie de l'électricité (fig. 30). Le centre de cette force créatrice dans son parcours à travers l'espace sème les sous-atomes qui, réunis ultérieurement en groupes, constituent les éléments chimiques connus.

On demande parfois pourquoi, si les éléments se sont formés, on n'a jamais vu d'élément transformé ou en voie de transformation? Cette question est aussi futile que cette chicane que dans le monde animal on ne voit jamais de cheval métamorphosé en vache. Avant que le cuivre puisse être transmuté en or, il faudrait le ramener à un état de matière plus simple et plus primitif, et puis, pour ainsi dire, l'aiguiller sur la voie qui conduit à l'or.

Ce système atomique implique un mouvement de va-et-vient de la forme d'énergie qui gouverne l'état électrique de l'atome. On observe que les éléments formés en s'approchant de la situation centrale sont électro-positifs, et ceux qui s'en écartent électro-négatifs. En outre, la valeur positive ou négative varie avec la distance des éléments à partir de la ligne centrale; par suite en appelant neutre l'atome occupant la position moyenne, les sous-atomes qui sont d'un côté de la moyenne seront chargés d'électricité positive et ceux de l'autre côté d'électricité négative, l'ensemble de l'atome étant neutre.

Ceci n'est point une pure hypothèse, et peut prendre rang de théorie. On l'a vérifié autant qu'il est possible avec une si décevante énigme. De longues recherches poursuivies dans le laboratoire ont montré dans des matières qui se comportaient à tous les essais comme des éléments, des traces de différence permettant d'admettre la sélection et la distinction des meta-éléments avec les propriétés voulues pour la théorie. L'yttria qui a été si utile dans les recherches électriques comme témoin des atomes négatifs, n'est pas moins intéressante en chimie à titre de premier corps où l'on ait manifesté l'existence des sous-groupes de meta-éléments.

Conclusion.

J'admets franchement que je n'ai nullement épuisé le sujet qui remplit jour et nuit ma pensée. J'ai cherché avec ardeur des faits pour fonder ma théorie. J'ai attaqué des problèmes qu'il faudra résoudre avant d'arriver à d'exactes conclusions. On ne parviendra à ces conclusions, en ce qui touche le monde inorganique que par l'harmonie et la fusion (non pas la confusion) de l'électricité et de la chimie, sciences jumelles à présent.

C'est de cette fusion que j'ai essayé de vous donner un avant-goût; dans l'étude de la physique supérieure ces phénomènes électriques doivent prendre peut-être la majeure part.

Nous avons envahi des régions inconnues jusqu'ici, mais un travail formidable reste à accomplir. En y procédant, nous pouvons nous adresser

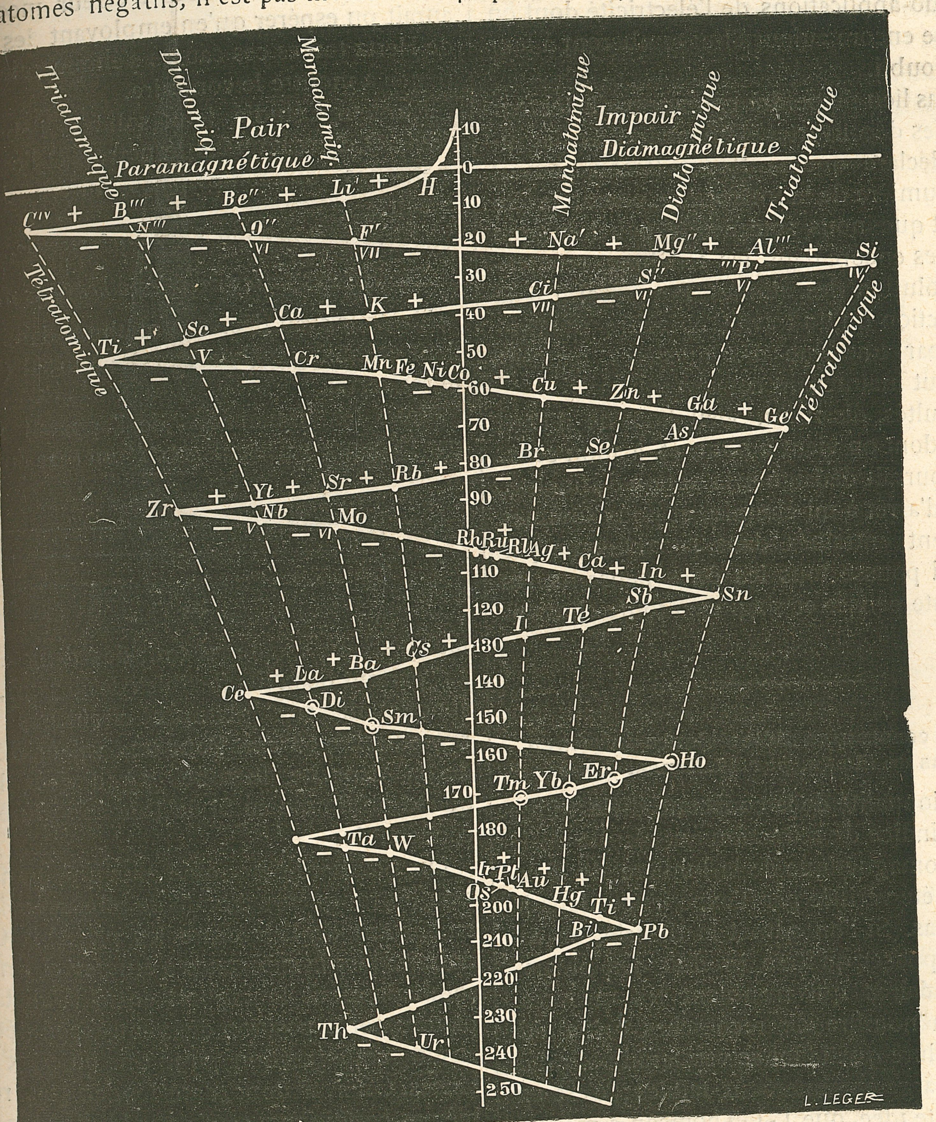


Fig. 30

à l'électricité non seulement pour aider, comme elle fait déjà, notre entendement, mais pour aiguiser et développer nos facultés de perception.

La science sort de l'enfance ; elle s'est dépouillée de beaucoup d'illusions et d'impostures ; elle a rejeté la magie, la chimie et l'astrologie. Et certaines pseudo-applications de l'électricité dont on s'embarrasse encore aujourd'hui tomberont à leur tour dans l'oubli.

Il n'y a pas lieu de perdre courage par la lenteur apparente des découvertes élémentaires. Le découragement déclare que si Roger Bacon pouvait revoir « la lumière de la lune » il secouerait la tête en songeant que nous sommes si peu loin, que nous sommes encore dans les ténèbres, relativement à l'évolution des atomes. Pour moi, j'ai la ferme conviction qu'un travail opiniâtre sera récompensé par une vue des mystères naturels qu'on ne peut maintenant concevoir.

Les difficultés, disait un vieil homme d'Etat, sont choses dont on vient à bout, et, à mon sens, la science pourrait dédaigner la notion de finalité. Il n'y a pas d'arrêt à mi-chemin, et nous sommes invinciblement entraînés dans la recherche par l'esprit « qui pousse tous les êtres pensants, les objets de toute pensée et s'agite en toute chose ».

E. R.

Mesure des constantes diélectriques au moyen des vibrations de Hertz, par M. Ernest Lecher (1)

La proportionnalité de la constante diélectrique au carré de l'indice de réfraction qui résulte de la théorie électromagnétique de la lumière de Maxwell n'a pas été vérifiée par l'expérience dans la plupart des cas. Si l'on admet la théorie, on est obligé de supposer qu'il se produit des phénomènes secondaires qui troublent les mesures. D'un certain nombre de recherches on a été amené à conclure que la loi se vérifierait pour des durées de charge extrêmement faibles ; c'est en partant de cette idée que J.-J. Thomson a mesuré quelques constantes diélectriques à l'aide des vibrations de Hertz.

L'auteur avait, sans connaître ce premier travail, effectué des expériences à peu près identiques ; mais les résultats sont différents. Il a trouvé, pour quatre substances étudiées, que la constante diélectrique déduite de la capacité non seulement ne la diminue pas, mais augmente quand on raccourcit la durée de la charge.

Le terme « constante diélectrique » semble donc impropre ; en fait on n'a comparé que des capacités, et dans le résultat des mesures entraient le résidu et d'autres causes d'erreur inconnues ; on aurait pu espérer qu'en employant les vibrations de Hertz toutes ces causes s'élimineraient ; l'expérience a montré le contraire.

L'auteur a étudié deux solides, l'ébonite et le verre, et deux liquides, le pétrole et l'eau, par trois méthodes différentes. Les durées de charges étaient

$$0{,}5, \quad 0{,}5.10^{-8}, \quad 0{,}8.10^{-7} \text{ seconde.}$$

Expériences faites avec les vibrations de Hertz.

L'auteur avait décrit sa méthode dans un précédent mémoire analysé dans ce journal (1), auquel je renverrai.

Voici les dimensions de l'appareil représenté par la figure 1 : les fils $s\,t\,s'\,t'$ ont 1 122 cm. de long,

Fig. 1

leur distance est de 31 cm. ; des deux extrémités $t\,t'$ partent deux fils flexibles de 69,7 cm. de long, aboutissant aux plateaux circulaires dont les rayons ont 9,68 cm. Pour une valeur déterminée de la capacité, le tube $g\,g$ devient lumineux quand on donne au fil de jonction c une position convenable.

On a d'abord déterminé avec une grande précision les longueurs d'onde de plusieurs vibrations, en laissant de l'air entre les plateaux. On introduisait alors la substance à étudier et on étudiait sommairement le rapport entre la distance des plateaux et la position des ventres ; on déterminait ensuite cette position pour une ou deux des distances. On avait donc, dans les deux cas, réalisé les mêmes conditions, sauf pour la distance des plateaux ; on admettait que la capacité était restée la même et il était facile de calculer la constante diélectrique de la subtance étudiée.

Pour l'air, on a trouvé qu'à des écartements des plateaux égaux à

0,791 0,830 0,870 1,146 1,186 1,227 1,266
1,324 1,360 cm.

(1) *Wiedemann Annalen*, janvier 1891.

(1) *La Lumière Electrique*, janvier 1891, p. 89.

correspondaient des distances de c au commencement du fil égales à

641,48 633,68 629,18 592,74 586,72 583,84 580,35
573,65 570,54 cm.

et, en outre, aux écartements

1,146 1,186 1,227 1,266 cm.

correspondaient des distances de a au commencement du fil égales à

1045,74 1043,70 1041,73 1038,64 cm.

Ebonite. — Avec une lame de cette matière de 0,7164 cm. d'épaisseur on obtient pour des distances des plateaux égales à 1,266 et 1,701 des distances 641,63 et 585,46 pour a ; pour le ventre c, à une épaisseur de 1,701 correspond la distance 1040,42 cm.

La distance 641,63 correspond à une lame d'air de 0,791 ; la différence $1{,}266 - 0{,}791 = 0{,}475$ correspond à l'augmentation de capacité due à l'introduction de lame d'ébonite. Les différences correspondant aux autres positions sont 0,495 et 0,467. L'écart entre ces trois nombres, qui devraient être égaux, tient vraisemblablement à des défauts de la méthode et, en particulier, à la difficulté qu'il y a à déplacer les plateaux du condensateur parallèlement à eux-mêmes. La moyenne des trois valeurs 0,716 donne une constante diélectrique égale à 3,01, pour des durées de charge de l'ordre du cent-millionième de seconde.

Verre. — Avec une lame de 0,8797 d'épaisseur on a trouvé, pour des distances des plateaux de 1,582 et 1,954 cm., les positions 634,57 et 587,54 pour c et 1,954 pour a dans le second cas. Ces nombres donnent une augmentation de capacité de 0,758, 0,767 et 0,763 cm. et pour la constante diélectrique, 7,31.

Pétrole. Le liquide fut placé dans un vase formé par un anneau de bois limité par deux lames de verre. L'épaisseur, après remplissage, fut déterminée en trente points ; on avait également déterminé l'épaisseur correspondante des lames de verre. On a opéré successivement avec le vase vide et plein ; le nombre trouvé est 2,42 pour du pétrole ordinaire du commerce contenant un peu d'eau.

Eau. — En remplissant l'appareil d'eau distillée formant une couche d'épaisseur 1,9342 cm. l'abscisse de a est 635,47 cm., pour une distance des plateaux de 3,160 cm.

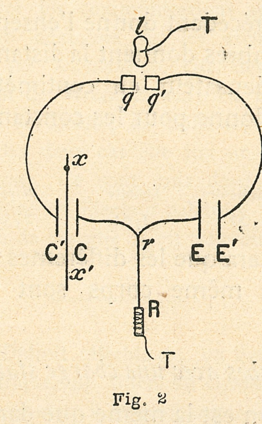


Fig. 2

A une épaisseur de 1,934 correspondrait une différence, déterminée comme plus haut, de 1,958 ; la constante diélectrique serait infinie.

Expériences avec les oscillations de l'appareil de Ruhmkorff.

La méthode employée se rapproche beaucoup de celle de Gordon, mais elle est plus simple. Un des pôles d'une petite bobine d'induction R (fig. 2) est à la terre ; le second pôle est relié au condensateur de comparaison E. Les deux autres plateaux de ces condensateurs C' et E' sont reliés aux deux quadrants q et q' d'un électromètre.

	Ébonite 0,7164 cm.		Verre 0,`797 cm.		Pétrole + 2 lames de verre (1,9272 + 0,4338 cm.)		Eau + 2 lames de verre (1,9342 + 0.4388 cm.)		2 lames de verre 0,4388 cm.	
Avec le diélectrique	2,1610	1,6090	2,6278	2,0325	3,6590	3,6560	4,2100	4,0035	1,8834	1,9240
Avec l'air	1.5785	1,0249	1,7240	1,1285	1,8120	1,8240	1,3410	1,1200	1,4401	1,4859
Différence	0,5825	0,5841	0,9038	0,9040	1,8470	1,8320	2,8690	2,8835	0,4433	0,4381

On introduisait d'abord la plaque à étudier entre les plateaux C et C' et on réglait à peu près l'autre condensateur E E'. Le réglage complet s'obtenait par un déplacement commandé par la même vis micrométrique qui avait servi dans les premières expériences. Cette méthode est d'une extrême sensibilité.

Quand l'aiguille de l'électromètre était revenue au zéro, on enlevait la lame $x x'$, sans rien toucher à E E' et on éloignait C de C' jusqu'à rétablir l'équilibre.

Le tableau précédent donne l'ensemble des mesures. Les nombres donnent la distance des armatures du condensateur en centimètres (tableau p. 345). Ceci donne pour les constantes diélectriques.

Verre à glaces	Verre ordinaire	Ébonite	Pétrole	Eau
5,34	5,09	2,81	2,35	∞

On remarquera que les différentes valeurs trouvées pour un même corps sont très concordantes.

Recherches avec une charge statique.

La disposition est la même que dans le cas précédent, si ce n'est qu'on a remplacé la bobine par une petite machine électrique. La distance des pôles est de 0,05 cm.; les différences de potentiel sont donc très faibles. L'un des pôles est à la terre, l'autre est mis en communication pendant une demi-seconde environ avec le point r.

Pour l'eau et le pétrole, il a été impossible de faire des mesures; ces liquides agissaient comme un écran mis à la terre. On n'amenait l'aiguille au zéro qu'en éloignant infiniment E de E'.

Pour les autres substances, le tableau suivant donne les mesures.

	Ébonite 0,7164 cm.		Verre 0,8797 cm.		Lames de verre 0,4338 cm.	
Avec le diélectrique......	1,5820	2,0640	2,4885	1,9820	1,8631	1,9942
Avec l'air.....	1,0090	1,4863	1,6150	1,1062	1,4330	1,5638
Différence..	0,5730	0,5777	0,8735	0,8758	0,4301	0,4304

On obtient pour les constantes diélectriques

Verre à glaces	Verre	Ébonite
4,67	4,64	2,64

Résumé des résultats.

Les valeurs obtenues par les trois méthodes *basées sur l'emploi de hautes tensions* sont réunies ici :

Durée de la charge en secondes	Constante diélectrique de: Verre à glaces 0,8797 cm.	Verre ordinaire 0,4338 cm.	Ébonite 0,7164 cm.	Pétrole 1,9272 cm.	Eau 1,9312 cm.
0,5........	4,67	4,64	2,64	Non mesurée.	
$0{,}5.10^{-3}$...	5,34	5,09	2,81	2,35	∞
$0{,}3.10^{-7}$...	7,31	6,50	3,01	2,42	∞

La constante diélectrique, si on la calcule simplement d'après la capacité, va en croissant d'une façon considérable avec la fréquence des oscillations.

Contrairement à ce que pense J.-J. Thomson, l'auteur croit qu'avec les vibrations de Hertz on n'obtient pas une valeur plus approchée de cette constante.

La durée d'oscillation est donnée par la formule

$$T = pc\,(\lambda^2 + \pi^2),$$

où p est la self-induction, c la capacité et λ l'amortissement.

λ croît lorsque les vibrations deviennent plus rapides, et il ne serait pas impossible, pense M. Lecher, que cet amortissement soit la cause principale de l'augmentation de la constance diélectrique que l'on observe. D'ailleurs, les phénomènes sont certainement très complexes, car la capacité d'un condensateur à lame d'eau mesurée au moyen des oscillations de la bobine est la même que l'eau soit pure ou additionnée de 10 o/o d'acide sulfurique. Au contraire, avec les vibrations de Hertz, de l'eau pure présente une constante diélectrique égale à 300, et il suffit de lui ajouter quelques gouttes d'acide pour que les vibrations cessent ou du moins ne puissent plus être décelées par la méthode employée.

La conclusion de l'auteur est qu'il semble préférable d'employer des vibrations à longue période pour lesquelles il sera plus facile de séparer les phénomènes secondaires et de les étudier.

C. R.

FAITS DIVERS

Dans la journée du 16 janvier, plusieurs explosions très bruyantes et très dangereuses ont semé l'alarme dans les rues de Chicago. Plusieurs des trous d'homme ménagés aux coins des rues pour la visite des égouts se sont changés en cratères de petits volcans. Une femme de couleur a été tuée et plusieurs passants n'ont dû la vie qu'à la rapidité avec laquelle ils se sont sauvés. Des dégâts matériels d'une certaine importance ont éte constatés, car les vitres ont été broyées tout autour du lieu du sinistre.

L'ingénieur en chef de la ville s'est livré à une enquête.

La cause première du sinistre est le gaz d'éclairage, qui fuit plus ou moins par tous les joints et va en s'accumulant dans toutes les parties élevées à cause de sa faible pesanteur spécifique. Cet effet mécanique est d'autant plus à redouter qu'on a établi une canalisation spéciale d'hydrogène pour le chauffage.

Maintenant l'étincelle est-elle venue d'un fil électrique, ou bien peut-on admettre que, dans ces circonstances, il s'est formé un mélange instantanément inflammable à cause des émanations des égouts.

D'après le *Sunday Herald*, M. Barett aurait émis cette dernière opinion. Attendons de plus amples renseignements pour nous prononcer.

Mais nous croyons devoir appeler l'attention sur un danger dont nous ne pouvons nous désintéresser, quoiqu'il doive être rangé équitablement au nombre des périls inhérents à l'usage du gaz.

Le dernier numéro du *Journal Télégraphique* de Berne renferme une note très intéressante sur les coups de foudre observés en Belgique depuis le 26 janvier jusqu'au 6 septembre 1888. Les résultats ne montrent pas que l'art de la protection contre le feu du ciel ait fait de grands progrès de l'autre côté de la frontière du nord et qu'il y ait lieu de modifier les instructions de notre Académie des sciences.

Sur une surface qu'on peut évaluer à beaucoup plus de la vingtième partie de celle de la France, nous trouvons en un an (plus exactement en 8 mois) 17 morts d'êtres humains (8 hommes, 5 femmes et 4 enfants); 17 églises ont été frappées par la foudre; une au moins, celle d'Ixelles, en Brabant, était pourvue d'un paratonnerre.

Mention est faite du coup de foudre de l'hôtel de ville de Bruxelles, où un commencement d'incendie a été constaté, comme nous l'avons rapporté, malgré le paratonnerre dont l'édifice est pourvu.

A l'observatoire de Bruxelles la foudre a causé quelques dégâts en tombant sur un anémomètre qu'on avait placé pour les astronomes en dehors de la zône de protection la plus large qui ait été imaginée. On signale encore un coup de foudre sur le paratonnerre d'une cheminée d'usine.

Parmi les sinistres nous n'en citerons qu'un seul, l'incendie du château de Moulbaix, dans la province du Hainaut, frappé le 23 juin, vers 2 heures du soir; les dégâts sont évalués à 557000 francs. Nous trouvons dans ce rapport la mention d'un fait curieux.

Le 27 juin, la foudre étant tombée sur le fort de Wommelghen, dans la province d'Anvers, un grand nombre de poissons qui vivaient dans le fossé ont été tués. L'eau, dit le rapport du génie militaire, a pris une couleur bleuâtre semblable à celle d'une lessive, et elle dégageait une odeur sulfureuse.

Cet accident montre qu'on ne saurait trop prendre de soins pour assurer les communications souterraines, qui sont souvent trop négligées par les architectes. Arago, dans sa *Notice sur le tonnerre*, cite deux phénomènes analogues à celui de Wommelghen; en 1672, la foudre tomba sur le lac de Zirnitz, en Bohême, et en 1772 sur le Doubs; dans les deux cas elle tua un nombre considérable de poissons. Ce sont sans doute ces accidents qui avaient déterminé un Électeur palatin à rendre une ordonnance en vertu de laquelle il est interdit de se baigner en temps d'orage.

On construit à Détroit (Michigan), un bateau sous-marin à propulsion électrique, qui diffère du *Gymnote* en ce qu'il tend toujours à remonter; il ne peut rester entre deux eaux que tant qu'un appareil particulier l'y maintient. En cas d'accident, il remonte de lui-même à la surface de l'eau.

L'Institution des ingénieurs électriques de Londres a changé de local et s'est installée dans de plus vastes appartements. Cette circonstance a suggéré une très heureuse idée, la fondation d'un musée d'électricité, où l'on réunirait tous les instruments historiques si nombreux dans la patrie de Stephen Gray, de Faraday et de tant d'illustres électriciens, mais malheureusement répandus un peu partout, à King's College, à Royal Institution, à la Société des arts, etc. Toutes ces reliques se prêteraient un mutuel appui et gagneraient énormément à être rapprochées les unes des autres, dans un véritable musée des véritables souverains de l'intelligence humaine.

D'après les statistiques les plus récentes, on évalue à 200 millions le nombre des télégrammes expédiés annuellement par les divers Etats européens. Le nombre des bureaux est de 78000. La longueur des lignes de 570000 kilomètres, et celle des fils 1600000 kilomètres, soit 40 fois le tour du monde.

La moyenne annuelle est de 2666 télégrammes par bureau ouvert, de 340 par kilomètre de ligne et de 140 par kilomètre de fil.

La population de l'Europe étant de 347 millions d'habitants, la moyenne par tête est d'environ 0,65 télégramme.

diverge pour tout autre diamètre de fil et toute autre température.

Nous avons donné, il y a quelque temps ([1]), une formule représentant avec une exactitude suffisante pour la pratique les résultats expérimentaux de Kennelly. D'autre part ([2]), nous avons eu l'occasion de faire quelques expériences sur des fils plus fins que ceux de Kennelly, et qui nous ont permis de déterminer la valeur de la convection pour des fils de faible diamètre.

Le fil de 0,2 cm. de diamètre permet de comparer les résultats de M. Barbieri avec ceux de Kennelly, et nous mettrons en parallèle les nombres que fournit notre formule :

FIL DE 0,2 CENTIMÈTRE

Élévation de température :	10°	20°	40°	80°
Intensité du courant en ampères				
Kennelly........	18	25	35	47
Barbieri.........	19	25,2	33,7	43
Formule.........	18	26,7	36,5	50

Kennelly n'a pas examiné de fils nus inférieurs à 0,2 centimètre, mais il s'est servi de fils fins noircis, et comme il est possible d'en tirer les nombres relatifs aux fils nus de même diamètre, on peut alors faire la comparaison suivante :

FIL DE 0,052 CENTIMÈTRE

Élévation de température :	20°	40°	80°
Intensité du courant en ampères :			
Kennelly........	5,3	7,8	11
Barbieri.........	4,5	6,2	8,4
Formule.........	5,7	8,0	10,5

On voit que notre formule se rapproche plus des nombres de Kennelly que de ceux de M. Barbieri. Ces derniers, quoique peu différents, étant données les causes de variation multiples, sont en général inférieurs à ceux de Kennelly et à ceux que nous avons obtenus par l'expérience et par le calcul. D'ailleurs, M. Barbieri n'indique pas la température ambiante à laquelle il a opéré, et qui, si elle n'a pas une influence considérable, est néanmoins intéressante à connaître.

([1]) *La Lumière Electrique*, t. XXXVI, p. 20. 1890.
([2]) *La Lumière Electrique*, t. XXXVIII, p. 606, 1890.

La méthode de M. Barbieri pour déterminer la température du fil comporte une cause d'erreur. La température, en s'élevant, ne fait pas seulement varier la longueur du fil par le simple effet de la dilatation thermique, mais encore par suite de la variation du coefficient d'élasticité. Celui-ci diminue lorsque la température s'élève, et le fil étant tendu par un poids assez considérable, s'allonge.

M. Barbieri a déterminé, il est vrai, le coefficient de dilatation de ses fils, mais seulement entre des limites de température assez restreintes. Le nombre qu'il a ainsi obtenu, son fil étant soumis à la traction, doit être légèrement supérieur au coefficient de dilatation réel. Il aurait donc tenu compte

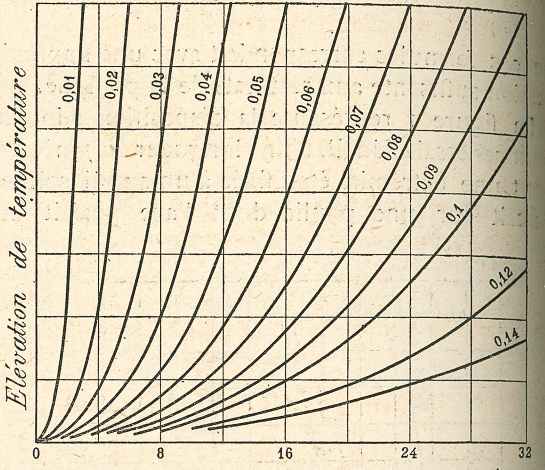


Fig. 3. — (Chaque division de l'échelle des ordonnées correspond à 40°; on a ainsi défini les divisions 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 et 280; les abscisses, intensités des courants, sont en ampères.)

de cette cause d'erreur, s'il avait déterminé le coefficient d'allongement total jusqu'à 200°. L'élasticité du fil diminue plus rapidement que la température n'augmente, ainsi qu'il ressort des nombres suivants donnés par Wertheim :

	20°	100°	200°
Coefficient d'élasticité.	$10,519 \times 10^8$	$9,827 \times 10^8$	$7,862 \times 10^8$ gr. par cm^2.

Si l'on calcule la grandeur de l'erreur introduite de ce chef dans l'évaluation de l'intensité, on trouve qu'elle ne dépasse pas 3 o/o. Il nous resterait à connaître la température initiale des fils, pour pouvoir expliquer jusqu'à un certain point les températures un peu hautes trouvées par M. Barbieri pour chaque intensité. Kennelly opérait à 26°; si les expériences précédentes ont été faites à une dizaine de degrés au-dessous de

cette température, nous trouverions là encore environ 2 o/o de différence entre les résultats des deux opérateurs.

On voit que ces différences sont assez faibles pour ne pas altérer beaucoup les résultats; on peut admettre néanmoins qu'un fil de 7 mètres de long, non rectiligne, peut s'allonger sous d'autres influences, telles que variation de la résistance à la flexion, etc. Dans tous les cas, la méthode par la dilatation n'est pas très sensible; l'emploi de la pince thermo-électrique pour l'évaluation des températures donnerait certainement des résultats plus précis.

Nous complétons les résultats du calcul que nous avons donnés antérieurement, en représentant graphiquement la formule donnant les variations de la température en fonction de l'intensité du courant pour les fils fins. Les courbes sont contenues dans la figure 3, les nombres qui y figurent indiquent les diamètres des divers fils, en centimètres; ces diamètres s'étendent de 0,01 à 0,14 centimètre.

A. HESS.

SUR LES IMAGES PHOTOGRAPHIQUES
DES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES ET LEUR CAUSE

Les brillantes expériences de MM. Bertin, Ducretet et Latchinoff sur la photographie des décharges électriques m'ont engagé, vers la fin de 1887, d'entreprendre quelques expériences du

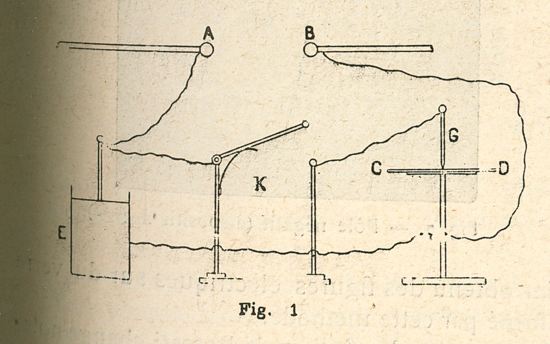


Fig. 1

même genre, que j'ai continués en 1888 et 1889. Pendant ce temps, la littérature scientifique s'est enrichie des travaux de MM. Brown et Trouvelot sur le même sujet.

A l'exception de M. Ducrétet, tous ces expérimentateurs se sont servis de la bobine de Ruhmkorf; mes expériences, au contraire, ont été exécutées à l'aide d'une machine Tœppler-Voss. Une

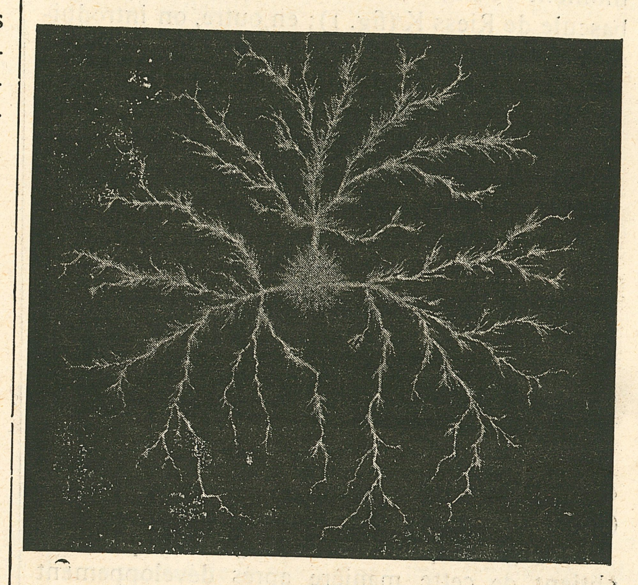


Fig. 2. — Pôle positif (dispositif fig. 1).

plate-forme métallique supportait la plaque sensible C D (fig. 1), posée de manière que la pellicule sensible était tournée en haut. Un support isolé

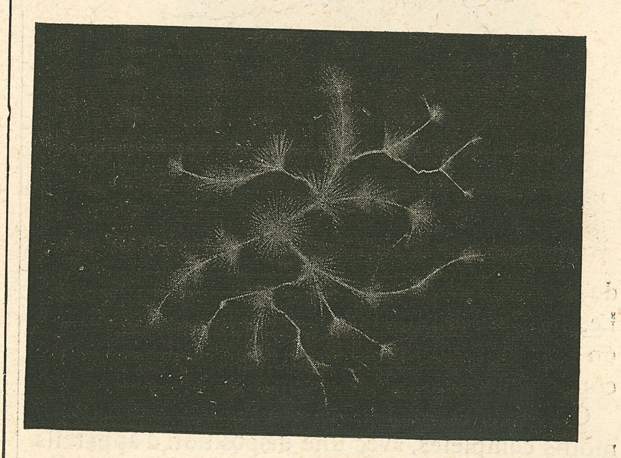


Fig. 3. — Pôle négatif (dispositif fig. 1).

soutenait un conducteur G normalement à la surface de la plaque. Le bout inférieur de ce conducteur, que l'on plaçait en contact au milieu de la plaque, avait la forme d'une pointe, d'une boule, d'un cylindre plein ou d'un tube, selon l'exigence

de l'expérience. La plate-forme métallique était mise en connexion avec l'une des électrodes de la machine, et le conducteur G avec l'autre.

Pour pouvoir produire une seule décharge au moment voulu, on se servait d'un excitateur à bascule de Riess K (fig. 1); en outre, on introduisait ordinairement dans le circuit une assez grande bouteille de Leyde E, dont on faisait communi-

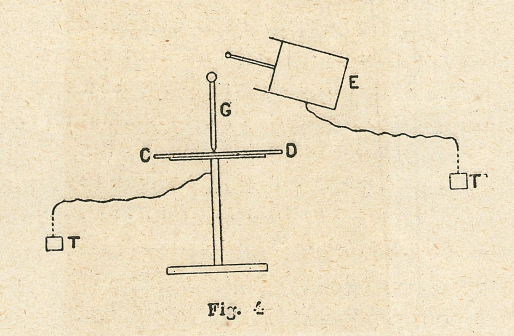


Fig. 4

quer l'armature extérieure avec la plate-forme (fig. 1), ou toutes les deux avec la terre.

Les figures positives et négatives que l'on obtient de cette manière après développement (fig. 2 et 3) ont un caractère bien différent; les positives présentent de belles ramifications en forme

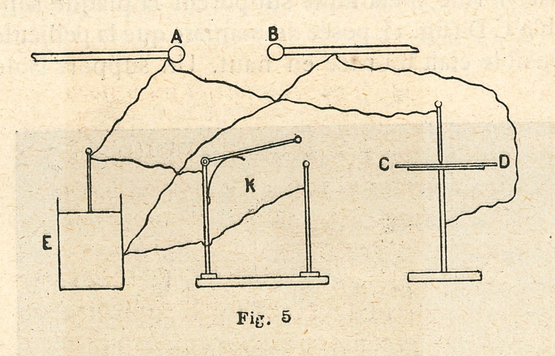


Fig. 5

de racines, et les négatives en forme d'éventails. Les figures les plus nettes sont produites quand on met une aiguille en acier au bout inférieur du conducteur.

On obtient des figures de même genre, mais moins complètes, avec une disposition d'appareils plus simples (fig. 4). On supprime la machine de Voss et l'excitateur et l'on fait communiquer la plate-forme métallique avec la terre; le bouton de la bouteille de Leyde E chargée, dont l'armature extérieure est en communication à la terre, est simplement approché à la main du bout du conducteur G.

Les figures sont très belles et très caractéristiques quand la bouteille de Leyde est accouplée en dérivation, comme l'indique notre figure 5. Alors, l'excitateur produit une décharge oscillante, et par conséquent les figures positives ne diffèrent

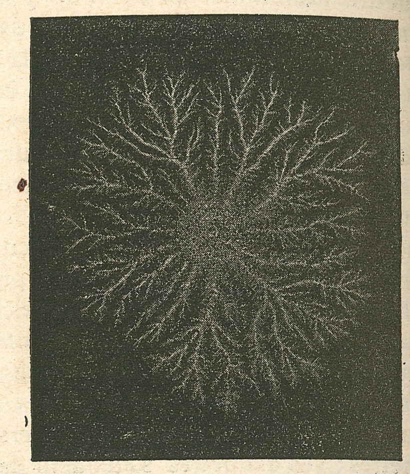


Fig. 6. — Pôle positif (dispositif fig. 5).

pas des négatives d'une manière aussi tranchée qu'à l'ordinaire. Les figures 6 et 7 correspondent à ces conditions. C'est M. Rosseti qui a le pre-

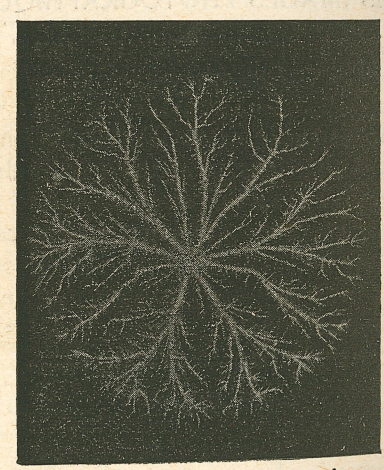


Fig. 7. — Pôle négatif (dispositif fig. 5).

mier obtenu des figures électriques sur du verre enfumé par cette méthode.

Le caractère des figures de Rosseti change notablement si l'on interpose divers diélectriques entre la plate-forme et la plaque photographique.

Les figures 8 et 9 sont obtenues sur des plaques ordinaires sans interposition du diélectrique.

L'augmentation de l'épaisseur du verre accentue la différence entre les figures positives et les négatives, et l'introduction du caoutchouc durci augmente le nombre des ramifications et rend les figures pour ainsi dire plus nourries.

J'ai fait aussi quelques expériences en vue de déterminer si les figures sont produites par la seule action lumineuse et chimique. Je me suis

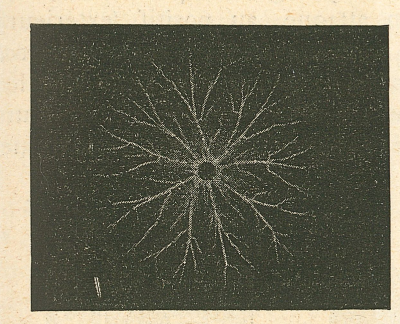


Fig. 8. — Pôle positif (plaque de verre ordinaire).

assuré qu'une couche de collodion normal, appliquée sur la surface de la gélatine sensibilisée, ne modifie en rien le caractère de la figure produite par l'action de la décharge; il faut seulement dissoudre le collodion avant de développer l'image. Une plaque sensible a été recouverte à moitié de

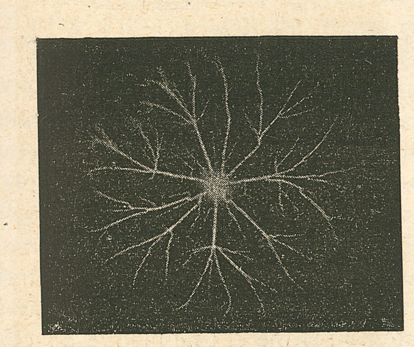


Fig. 9. — Pôle négatif (plaque de verre ordinaire).

collodion normal; on a fait de même pour une deuxième plaque semblable, mais le collodion était teint en noir.

Après la décharge et le développement, la première plaque donna une figure plus altérée et la deuxième une figure dans laquelle l'action de l'étincelle a été complètement nulle sous la couche du collodion noir. Une couche de vernis à l'asphalte a produit le même effet.

Cette expérience me paraît assez concluante pour pouvoir affirmer que les figures électriques sur des plaques photographiques sont produites uniquement par l'action de la lumière de l'étincelle.

Le collodion et le vernis adhèrent fortement à la couche sensible; par conséquent, leur action est

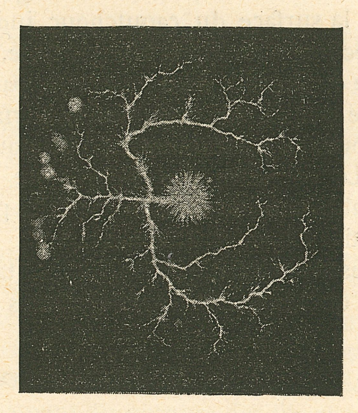


Fig. 10. — Pôle positif (décharge obscure).

nettement accusée. Mais si l'on couvre simplement une moitié de la plaque par une feuille de gélatine ou de mica teinte en noir, ou que l'on couvre toute la plaque sensible d'une feuille dont la

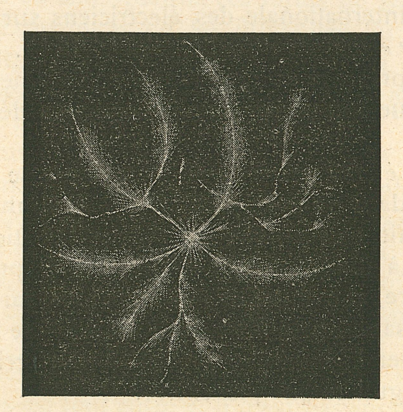


Fig. 11. — Pôle négatif (décharge obscure).

moitié seulement a été couverte de noir, le caractère des figures se complique par le concours des décharges de l'électricité induite dans l'espace entre la surface sensible et la surface inférieure de la feuille. Je nomme cette sorte de figures, figures d'induction.

On obtient encore mieux les figures d'induction si l'on couvre la plaque sensible par une feuille de caoutchouc et que l'on produise une dé-

charge sur sa surface. Une figure négative est développée sur la plaque si la décharge a été positive, et réciproquement.

Il est facile d'expliquer le mode de formation des figures d'induction; la couche d'air entre le caoutchouc et la plaque sensible forme l'isolateur d'un condensateur secondaire, et la décharge qui se produit sur la surface du caoutchouc induit une nouvelle décharge sur la surface sensible.

Une série de figures d'un caractère particulier est produite par la décharge sur la surface sensible saupoudrée préalablement de poudre de lycopode. Le caractère des figures de Rosseti change notablement, et la distinction des positives et des négatives devient plus nette.

Les figures 10 et 11 montrent le résultat qu'on obtient par quelques décharges obscures caractéristiques.

N. KHAMANTOFF.

LA PILE A. DE MÉRITENS

Au cours d'une récente communication à la Société internationale des électriciens sur le *rôle de la pile électrique dans l'industrie*, M. A. de Méritens a présenté un type nouveau d'élément voltaïque que l'on pourrait qualifier d'auto-dépolarisateur.

Le fait était à peine révélé que la presse quotidienne, dans sa précipitation professionnelle, le proclamait merveilleux et, par anticipation, en étendait à l'infini les conséquences imprévues; par contre, et ce pavé de l'ours ne leur paraissant pas suffisant, plusieurs revues spéciales se mirent à critiquer la nouvelle pile avec une acrimonie aussi singulière que préventive.

Nous venons de parcourir l'exposé fait par l'auteur et nous avouons ne pas y avoir découvert encore la justification, ni même la cause, de ces opinions si diamétralement opposées.

Toutes les piles primaires imaginées jusqu'à ce jour — et nous ne chercherons pas à en chiffrer les innombrables variétés, — présentent indistinctement le grave inconvénient de se polariser plus ou moins, selon le type et le régime de débit; les perfectionnements successifs ont eu pour but principal et à peu près unique de provoquer la réduction de l'hydrogène au fur et à mesure qu'il était libéré de sa combinaison première par l'oxydation du négatif.

M. de Méritens s'est demandé s'il n'était pas possible d'éviter la dépense résultant d'une part de l'emploi obligé d'un corps réducteur et d'autre part de celle que représente le travail absorbé par la chaleur de décomposition. Considérant en particulier que l'hydrogène se porte toujours, sur le corps non attaqué, au positif (extérieur), il a cherché à *constituer celui-ci par un couple voltaïque* fermé sur lui-même, de telle sorte que le métal attaqué de la double électrode fût toujours libre d'hydrogène, lequel se porterait entièrement sur

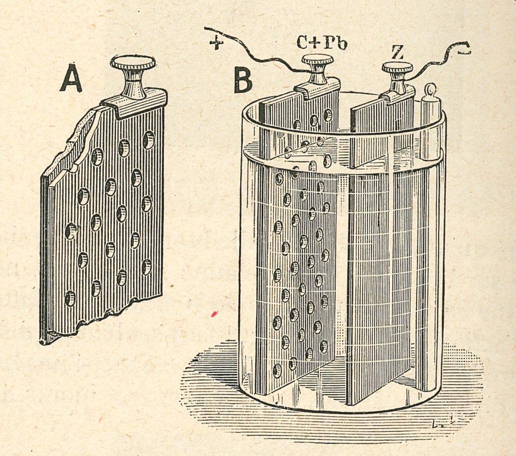


Fig. 1 et 2.— A, Couple électrode charbon et plomb; B, Élément de Méritens.

le positif du sous-couple. Il devenait indispensable, d'ailleurs, que le choix du corps employé fût tel que la force électromotrice du couple électrode fût aussi faible que possible par rapport à la force électromotrice principale de l'élément.

L'inventeur y parvint en formant le couple dépolarisateur de son élément au zinc pur avec une lame de plomb platiné et une plaque de charbon juxtaposées, de dimensions égales, et percées d'une série de trous propres à accroître leur surface active.

Lorsque cet ensemble est plongé dans l'eau acidulée sulfurique et que la réaction ordinaire se produit sur le zinc, il se forme à l'autre pôle un sous-oxyde de plomb, Pb^2O; mais comme cette formation est beaucoup plus lente que la formation du sulfate de zinc, l'hydrogène libre se trouve constamment chassé du plomb sur le charbon, d'où il se dégage hors de l'élément. Ce dégagement est si net qu'il est possible, au moyen d'un

dispositif très simple, de recueillir l'hydrogène pur au-dessus de l'élément en action et de l'allumer en l'amenant au contact de l'air par un tube capillaire.

Il paraît évident que dans ces conditions l'effet si connu de polarisation par accumulation de l'hydrogène sur le corps inattaqué des éléments ordinaires ne saurait plus se produire : la résistance intérieure est exclusivement limitée à la résistance de la tranche liquide qui sépare les électrodes; l'intensité du débit devient considérable pour une dimension donnée de surface active, et la conductibilité intérieure n'étant pas troublée le courant doit se maintenir absolument constant.

Pour conserver au liquide excitateur le degré voulu d'acidulation, un tube de porosité convenable et contenant du SO^3HO plonge dans l'élément dont il complète la composition.

Afin de démontrer la constance parfaite du débit de sa pile, dans la séance précitée, M. de Méritens avait disposé sur une table d'expériences un élément qu'il avait fermé en court circuit sur un ampèremètre Deprez-Carpentier : au début, l'appareil indiquait 30 ampères (pour une surface totale de zinc égale à 1 décimètre carré environ), et une heure après, 32 ampères.

Il est encore évident que la force électromotrice d'un tel système se maintiendra toujours inférieure à celle d'un élément de même nature à couple simple, puisqu'elle ne peut être que la différence de deux forces électromotrices accouplées en opposition partielle; mais il nous semble pour le moins inexact d'affirmer, comme on l'a fait *à priori*, que la combinaison imaginée par M. de Méritens revient à la « réalisation d'une pile zinc-charbon » et d'en conclure magistralement que sa force électromotrice normale ne saurait dépasser 0,8 volt.

On a pu constater à plusieurs reprises déjà que la force électromotrice du nouvel élément était à circuit ouvert de 1,2 à 1,3 volt; et à circuit fermé sur $R + r$, de 0,6 à 0,65 volt utile; ce qui exigerait encore 1500 ampères-heure environ, par kilowatt-heure, si quelques autres considérations dans lesquelles nous ne pouvons entrer aujourd'hui n'étaient de nature à modifier avantageusement le rendement industriel du système.

Il n'en est pas moins vrai que la pile de Méritens, en raison de la constance si nouvelle et de l'intensité considérable de son débit, nous paraît constituer un progrès réel pour les générateurs voltaïques, progrès dont il serait prématuré, tant que l'application ne l'aura pas sanctionné, d'évaluer la conséquence industrielle (1).

MALETERRA.

LA POSE DES CONDUCTEURS URBAINS

L'extension des réseaux télégraphiques et téléphoniques résultant de l'activité de plus en plus grande des peuples, obligés de satisfaire aux nécessités de leur vie par la création d'industries et de relations nouvelles, et l'abaissement des tarifs amené par le développement des correspondances électriques ont entraîné le développement parallèle du réseau aérien. Tant qu'on reste en rase campagne, les inconvénients qui résultent de l'accroissement du nombre des fils sur les mêmes appuis sont minimes, et si les poteaux deviennent par trop surchargés, il est possible, soit de faire usage d'appuis simples munis de haubans, soit de poteaux jumelés, soit enfin d'appuis réunissant ces deux modes de consolidation, si toutefois la bande de terrain dont on dispose en palier ou en talus permet ces sortes de renforcements. Dans le cas où les difficultés du sol s'y opposent, il est rare qu'on ne puisse pas doubler la ligne, en se résignant, s'il le faut, à suivre une voie détournée.

Il y a aussi la ressource de l'emploi des appuis en fer; mais leur prix encore élevé, malgré les progrès de la fabrication, restreint leur usage à la traversée de quelques passages spéciaux, ravins profonds, vallées ouvertes, cours d'eau, routes de grande communication, voies de chemin de fer, etc.

La gêne qu'entraîne dans les villes un tel état de choses est tout autre et il n'est pas aussi facile d'y remédier. Les agglomérations de population ne sont souvent accessibles, de par la nature du terrain ou à cause de l'ancienneté du plan de leur construction, que par un petit nombre de voies. L'État a bien le droit de fixer autant d'appuis qu'il est nécessaire sur les façades des immeubles que suit la ligne, et il peut y accumuler autant de conducteurs que le permettent des considérations d'ordre électrique et mécanique.

(1) Voir plus loin, p. 480.

en ces points la possibilité de séparer à chaque instant les divers conducteurs. A cet effet, on place à ces endroits un regard formant une petite chambre carrée; s'il y a un puits de galerie, on en profite. Les extrémités des câbles à rejoindre ont été, à l'origine, amenées sur un tableau d'ardoise où elles étaient saisies dans des pièces de bronze

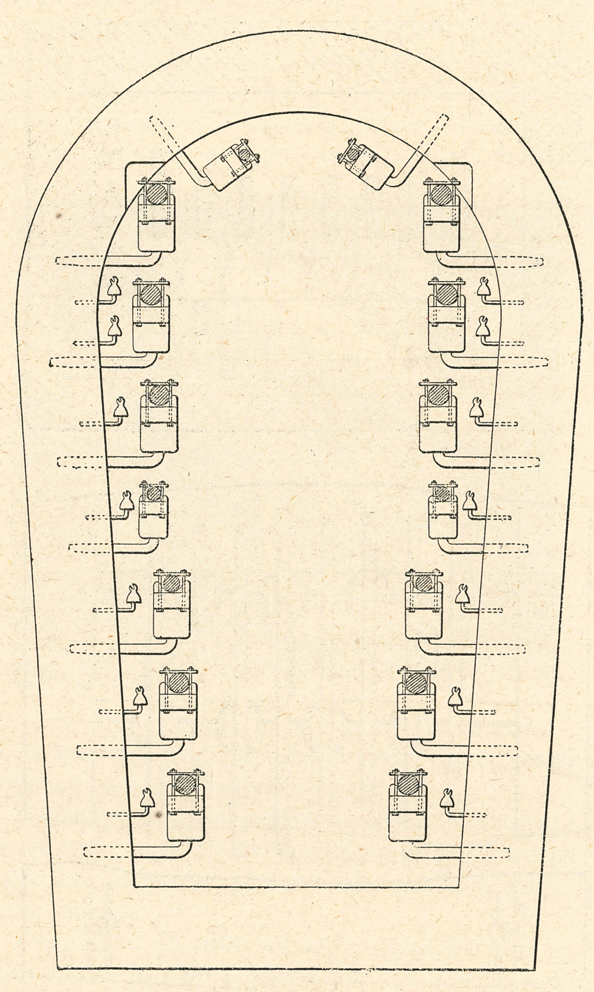


Fig. 9

formant bride; ces pièces elles-mêmes pouvaient être reliées par une pièce attachée à chacune d'elles par une vis et formant pont mobile; l'enlèvement de cette pièce sépare les conducteurs; elle est fréquemment formée par un plomb fusible destiné à éviter que les effets d'un court circuit, survenu en un point, se fassent sentir sur tout le réseau.

Cette disposition a été récemment modifiée; les tablettes en ardoise, d'abord employées, ont fourni des isolements très médiocres; on les supprime, les pièces en bronze formant bride et portant le pont mobile sont alors fixées directement par des cloches en porcelaine à tête carrée.

La figure 10 donne cet arrangement dont on a toute satisfaction.

L'ensemble de la canalisation ainsi constituée a maintenant une longueur d'environ 35 kilomètres. Il répond pleinement à ce qu'on avait attendu; naturellement au cours de l'installation d'une canalisation aussi étendue, aussi variée, établie quelquefois à la hâte, dans des conditions climatériques mauvaises, des défauts se sont produits; le mérite du système a été précisément de per-

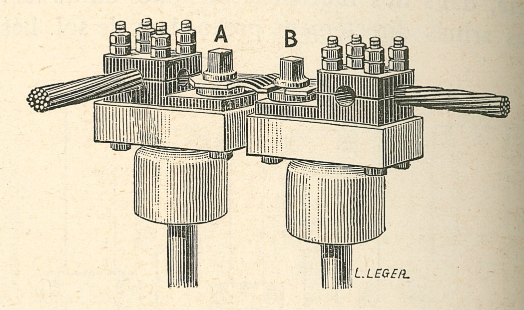


Fig. 10

mettre dans tous les cas de localiser, découvrir, réparer le défaut rapidement et à peu de frais; c'est une qualité fort précieuse et une grande garantie d'avenir.

Frank Géraldy.

CHRONIQUE ET REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

Sur les phénomènes relatifs aux courants alternatifs à fréquence rapide, par M. N. Tesla.

L'un des derniers numéros de *Electrical World*, de New-York, contient un article de M. Tesla, dont quelques passages intéresseront nos lecteurs.

Ce sont les expériences récentes de M. Crookes, ainsi que l'effet Ferranti et les discussions assez contradictoires auxquelles il donne lieu, qui provoquent les réflexions de M. Tesla. Suivant lui, les expériences de M. Crookes auraient été bien plus intéressantes si elles avaient été effectuées à l'aide d'une machine à courants alternatifs pou-

vant produire 10 000 à 20 000 alternances par seconde.

Le constructeur d'une machine de ce genre rencontrerait des difficultés particulières. Il s'agirait d'abord de faire une armature possédant le nombre voulu de bobines; on disposerait sans doute alors d'un appareil qui convertirait à peu près parfaitement l'énergie mécanique en chaleur.

Qu'il y ait maintenant dans les bobines des noyaux magnétiques, la machine aura grande chance de chauffer; s'il n'y a pas de noyaux, la machine chauffera moins, mais elle ne produira presque aucun courant. Il faudrait sans doute abandonner le fer dans l'armature; mais ce n'est probablement qu'après des expériences et des essais répétés qu'on pourrait réaliser la machine en question.

Parmi les plus intéressantes expériences qu'une machine de ce genre permettrait de réaliser sont celles que l'on fait habituellement avec une bobine d'induction de haute tension. L'aspect de la décharge serait complètement changé, l'arc s'établirait à des distances beaucoup plus considérables, et serait étonnamment affecté par les courants d'air. On entendrait le rhythme particulier aux arcs alternatifs, même lorsque les alternances dépasseraient 10 000 par seconde et la limite de la perception ordinaire des sons.

Sous certains rapports la machine se comporterait comme une machine statique. L'électricité jaillirait des pointes à peu près aussi facilement qu'avec une machine de Tœpler; les phénomènes tiennent à l'énorme différence de potentiel, car le courant serait très faible et la force électromotrice très élevée par suite de la self-induction de la bobine.

Dans un tel appareil, un courant induit d'une certaine intensité durerait au moins dans la bobine pendant 4 dix millièmes de seconde; cette durée est plus grande que la moitié de la période, il s'ensuit que la force électromotrice opposée commencerait à agir lorsque le courant circulerait encore; l'effet est le même que l'augmentation de pression dans un tube rempli de liquide qu'on tourne rapidement autour de son axe.

Le courant de la décharge même d'une forte bobine est si faible qu'il ne produit pas d'effet nuisible quand la fréquence est aussi rapide tandis qu'à une moindre fréquence l'effet serait certainement très dangereux.

L'absence de danger est dû à la rapidité des alternances, car, d'après les expériences de l'auteur, la même quantité d'énergie est d'autant moins dangereuse que la fréquence est plus rapide; d'après M. Tesla les tissus du corps humain agissent comme des condensateurs.

La charge d'une bouteille de Leyde présentera quelques effets curieux; on croirait, en effet, que vu la fréquence rapide la capacité devrait être faible, mais on constatera que même une petite bouteille met la bobine en court circuit. En réduisant la capacité à celle de deux sphères d'une dizaine de centimètres de diamètre et distantes de 2 à 4 centimetres, la décharge formera des bandes, des stratifications comme celles d'une succession d'étincelles examinées dans un miroir tournant les interruptions correspondant aux décharges du condensateur. On observera un phénomène curieux; la décharge partant des points les plus rapprochés montera graduellement pour s'interrompre à la partie supérieure des sphères, pour recommencer à la partie inférieure et ainsi de suite.

Ceci se fait si rapidement qu'on peut voir plusieurs bandes à la fois; malgré tout, l'explication en est assez simple. C'est que la décharge qui commence au point le plus rapproché chauffe l'air et fait monter l'arc jusqu'à ce qu'il se brise. Comme le courant passe facilement à travers des condensateurs même de faible capacité, on ne s'étonnera pas que la distance explosive de l'arc soit augmentée par la liaison avec un corps d'une certaine capacité.

Les expériences avec les tubes Geissler sont particulièrement intéressantes. Un tube à vide dépourvu d'électrodes s'illumine à une certaine distance de la bobine. Si le tube d'une machine pneumatique se trouve près de la bobine, toute la pompe devient brillante. Une lampe à incandescence que l'on approche de la bobine s'illumine et chauffe d'une manière appréciable. Si l'une des bornes de la lampe est reliée à la bobine et si l'on approche la main de l'ampoule, on constate une décharge très curieuse et assez désagréable et le filament devient incandescent.

La décharge ressemble quelque peu au courant provenant d'un des plateaux d'une puissante machine de Tœpler, mais le courant est infiniment plus fort. Dans ces conditions la lampe agit comme un condensateur dont le gaz rarefié forme l'une des armures et la main de l'opérateur l'autre. Lorsqu'on prend le verre de la lampe à la

main et que l'on approche les bornes près d'un conducteur relié à la bobine, le filament s'illumine brillamment et le verre s'échauffe rapidement.

Avec une lampe de 10 bougies et 100 volts, on peut supporter le courant sans grande gêne, mais on ne peut tenir la lampe que pendant très peu de temps, le verre s'échauffant très vite. Un tube illuminé dans le voisinage de la bobine peut être éteint lorsqu'on interpose une plaque métallique ou la main entre le tube et la bobine; mais lorsque cette plaque est bien isolée, le tube reste illuminé et l'éclat peut même augmenter. L'effet dépend de la position de la plaque et du tube par rapport à la bobine.

Dans des expériences d'un autre ordre l'auteur a pu également maintenir allumées des lampes à incandescence de 50 à 100 volts dont les deux bornes étaient reliées à un fort fil de cuivre de peu de longueur; ces expériences très intéressantes ne sont en somme que la répétition de celles qui consistent à établir la décharge entre deux points en fil de cuivre recourbé. On a pu constater aussi qu'un tube de Geissler dont les deux électrodes étaient reliées par un fil de cuivre s'illuminait lorsqu'on l'approchait de la bobine.

Lorsqu'on fait des expériences avec une bobine d'induction actionnée par des courants à période très rapide, il faut prendre certaines précautions. Il ne faut pas laisser le courant primaire pendant trop longtemps, autrement le noyau peut chauffer jusqu'à compromettre l'isolement et ceci peut arriver dans un très court espace de temps. Le courant primaire circulant, on peut sans grand risque fermer le courant secondaire, car l'impédance est si considérable qu'il est difficile qu'il circule dans le fil fin assez de courant pour compromettre le fil; la bobine est en somme moins sujette à des dérangements, lorsque la bobine secondaire est fermée que lorsqu'elle est ouverte, mais il faut surtout prendre garde, lorsque les bornes sont en relation avec une bouteille de Leyde, car pour la capacité qui équilibre la self-induction à la fréquence employée, la bobine court les plus grands dangers. Il faut d'abord remarquer que les bobines d'induction ordinaire ne conviennent que très peu lorsqu'il s'agit de fréquence très rapide.

A l'aide d'un téléphone on peut constater que des sons à vibrations bien plus rapides que ceux admis comme perceptibles à l'oreille peuvent être observés. Un téléphone peut émettre des notes correspondantes à 12 000 ou 13 000 vibrations par seconde, mais alors le noyau n'est plus capable de suivre des alternances si rapides; mais si on remplace l'aimant et le noyau par un condensateur dont on relie les bornes au secondaire d'un transformateur à haute tension, on peut percevoir des notes encore plus élevées.

Lorsque le courant circule autour d'un noyau laminé, et qu'une très mince plaque de fer est tenue contre le noyau, on peut percevoir avec un courant suffisamment fort un son correspondant à 13,000 ou 14,000 vibrations par seconde. Sir William Thomson estime la valeur limite de perception du son à 10,000 par seconde; d'autres auteurs, moins autorisés toutefois, portent ce nombre jusqu'à 24,000. Les expériences précitées ont conduit M. Tesla à admettre que des vibrations infiniment plus rapides pourraient être encore perçues, pourvu que l'on puisse les produire avec une intensité suffisante.

Il est possible d'obtenir avec des fréquences très rapides des arcs n'émettant presque aucun son, mais le réglage d'une lampe de ce genre est très difficile par suite des faibles attractions ou répulsions qui ont lieu entre les conducteurs. Un fait curieux des arcs produits par ces courants rapides est leur persistance; cela tient à deux causes, l'une dépendant du caractère de ces courants, l'autre résultant de la propriété des dynamos.

Lorsqu'un arc est formé par un courant ondulatoire, il existe des ondulations correspondantes dans la température de la colonne gazeuse, et par suite dans la résistance de l'arc; comme cette résistance varie très considérablement avec la température de cette colonne qui est pratiquement infinie lorsque le gaz est froid, la persistance de l'arc dépend de l'obstacle que les électrodes éprouvent à se refroidir. Il est impossible, pour cette raison, de maintenir l'arc avec un courant alternatif à faible fréquence; avec un courant pratiquement continu, il est facile de maintenir l'arc, car la colonne d'air a toujours une température élevée et une faible résistance.

Plus les fréquences sont rapides et plus le temps est petit pendant lequel l'arc peut se refroidir et augmenter de résistance.

Avec une fréquence de 10,000 alternances par seconde, ou plus, l'arc n'éprouve que des variations excessivement petites de température comme les vagues sur la surface d'une mer profonde. L'échauffement est pratiquement continu, et l'arc

se comporte comme s'il était produit par un courant continu, avec l'exception toutefois que l'arc ne s'établit pas aussi facilement et que les électrodes s'usent également; cependant quelques irrégularités ont été observées par l'auteur.

L'autre cause dont il a été question plus haut, peut provenir de la tendance qu'une machine à alternances aussi rapides possède à maintenir un courant constant.

Lorsque la longueur de l'arc augmente, la force électromotrice augmente en proportion, et l'arc paraît être plus persistant qu'il n'est en réalité.

Une machine de ce genre est parfaitement apte à maintenir un courant constant, mais ne convient pas pour maintenir constante la force électromotrice. Dans certains types de ces machines, on arrive presque sans le vouloir à obtenir un courant constant. Lorsqu'on augmente considérablement le nombre de pôles, on a réellement affaire à un grand nombre de petites machines; d'un autre côté l'impédance de l'armature est augmentée dans des proportions énormes par la rapidité des alternances.

D'un autre côté, les pertes magnétiques sont facilitées; s'il y a trois ou quatre cents pôles alternés, les dérivations magnétiques sont si considérables que l'effet revient à relier les deux pôles d'une machine bipolaire à l'aide d'une pièce de fer. Ce désavantage peut être atténué en employant un champ de même polarité, mais alors on rencontre des difficultés d'une autre nature. Ces causes diverses contribuent à maintenir un courant constant dans l'armature.

Faisons remarquer, par rapport à ceci, que même actuellement, des ingénieurs sont étonnés de la manière dont se conduisent des machines à courant constant, de même qu'ils étaient étonnés, il y a quelques années, de voir fonctionner une machine qui maintînt constante la différence de potentiel entre deux conducteurs. On obtient ces deux résultats d'une façon aussi facile dans un cas que dans l'autre.

Il suffit de se rappeler que dans un appareil d'induction quelconque, s'il s'agit d'obtenir un potentiel constant, il faut que l'induction du circuit secondaire « armature » suive le plus près possible le circuit primaire « excitateur », tandis que dans un appareil devant maintenir le courant constant, il faut réaliser des conditions opposées. De plus, dans le premier cas, l'opposition à la circulation du courant dans le circuit induit doit être aussi faible que possible, tandis qu'elle doit être très considérable dans le second cas.

On peut causer de plusieurs manières une opposition au passage du courant, soit par des résistances ordinaires, soit par la self-induction.

On peut donner au circuit induit d'une dynamo ou d'un transformateur une résistance si considérable qu'un courant presque constant est maintenu dans des appareils dont la résistance est relativement faible; mais une si haute résistance n'est pas pratique à cause de la grande perte d'énergie; il n'en est pas de même pour la self-induction, car, dans ce cas, on n'obtient pas nécessairement une perte d'énergie; il faut donc employer la self-induction et non la résistance.

Il existe une circonstance qui favorise l'application de ce principe; c'est qu'une self-induction très considérable peut être réalisée facilement en entourant une longueur comparativement faible de fil, plus ou moins complètement, par du fer.

De plus, on peut augmenter cet effet par la rapidité des alternances.

Ainsi, pour obtenir un courant constant, il faut réaliser les conditions suivantes :

Faibles communications magnétiques entre les circuits inducteur et induit, grande self-induction, avec faible résistance, et alternances très rapides.

Pour obtenir un potentiel constant, il faut au contraire : communications magnétiques intimes entre les circuits, courant inducteur très stable, et, si possible, pas de réaction.

Si ces dernières conditions pouvaient être réalisées complètement, la puissance d'une machine à potentiel constant surpasserait plusieurs fois celle d'une machine établie pour fournir un courant constant.

Malheureusement, une machine de ce genre serait de peu de valeur dans la pratique, par suite de sa faible force électromotrice et des difficultés provenant de la prise du courant.

Les constructeurs de machines à courant continu destinées à l'éclairage par l'arc ont reconnu ces desiderata des machines à courant constant.

Leurs dynamos à arc possèdent des champs magnétiques à faible intensité. Il y a de grandes armatures avec une grande longueur de fil de cuivre et peu de sections, afin de produire une grande variation dans l'intensité du courant pour faire intervenir la self-induction.

Ces machines peuvent maintenir, dans les li-

main et que l'on approche les bornes près d'un conducteur relié à la bobine, le filament s'illumine brillamment et le verre s'échauffe rapidement.

Avec une lampe de 10 bougies et 100 volts, on peut supporter le courant sans grande gêne, mais on ne peut tenir la lampe que pendant très peu de temps, le verre s'échauffant très vite. Un tube illuminé dans le voisinage de la bobine peut être éteint lorsqu'on interpose une plaque métallique ou la main entre le tube et la bobine; mais lorsque cette plaque est bien isolée, le tube reste illuminé et l'éclat peut même augmenter. L'effet dépend de la position de la plaque et du tube par rapport à la bobine.

Dans des expériences d'un autre ordre l'auteur a pu également maintenir allumées des lampes à incandescence de 50 à 100 volts dont les deux bornes étaient reliées à un fort fil de cuivre de peu de longueur; ces expériences très intéressantes ne sont en somme que la répétition de celles qui consistent à établir la décharge entre deux points en fil de cuivre recourbé. On a pu constater aussi qu'un tube de Geissler dont les deux électrodes étaient reliées par un fil de cuivre s'illuminait lorsqu'on l'approchait de la bobine.

Lorsqu'on fait des expériences avec une bobine d'induction actionnée par des courants à période très rapide, il faut prendre certaines précautions. Il ne faut pas laisser le courant primaire pendant trop longtemps, autrement le noyau peut chauffer jusqu'à compromettre l'isolement et ceci peut arriver dans un très court espace de temps. Le courant primaire circulant, on peut sans grand risque fermer le courant secondaire, car l'impédance est si considérable qu'il est difficile qu'il circule dans le fil fin assez de courant pour compromettre le fil; la bobine est en somme moins sujette à des dérangements, lorsque la bobine secondaire est fermée que lorsqu'elle est ouverte, mais il faut surtout prendre garde, lorsque les bornes sont en relation avec une bouteille de Leyde, car pour la capacité qui équilibre la self-induction à la fréquence employée, la bobine court les plus grands dangers. Il faut d'abord remarquer que les bobines d'induction ordinaire ne conviennent que très peu lorsqu'il s'agit de fréquence très rapide.

A l'aide d'un téléphone on peut constater que des sons à vibrations bien plus rapides que ceux admis comme perceptibles à l'oreille peuvent être observés. Un téléphone peut émettre des notes correspondantes à 12 000 ou 13 000 vibrations par seconde, mais alors le noyau n'est plus capable de suivre des alternances si rapides; mais si on remplace l'aimant et le noyau par un condensateur dont on relie les bornes au secondaire d'un transformateur à haute tension, on peut percevoir des notes encore plus élevées.

Lorsque le courant circule autour d'un noyau laminé, et qu'une très mince plaque de fer est tenue contre le noyau, on peut percevoir avec un courant suffisamment fort un son correspondant à 13,000 ou 14,000 vibrations par seconde. Sir William Thomson estime la valeur limite de perception du son à 10,000 par seconde; d'autres auteurs, moins autorisés toutefois, portent ce nombre jusqu'à 24,000. Les expériences précitées ont conduit M. Tesla à admettre que des vibrations infiniment plus rapides pourraient être encore perçues, pourvu que l'on puisse les produire avec une intensité suffisante.

Il est possible d'obtenir avec des fréquences très rapides des arcs n'émettant presque aucun son, mais le réglage d'une lampe de ce genre est très difficile par suite des faibles attractions ou répulsions qui ont lieu entre les conducteurs. Un fait curieux des arcs produits par ces courants rapides est leur persistance; cela tient à deux causes, l'une dépendant du caractère de ces courants, l'autre résultant de la propriété des dynamos.

Lorsqu'un arc est formé par un courant ondulatoire, il existe des ondulations correspondantes dans la température de la colonne gazeuse, et par suite dans la résistance de l'arc; comme cette résistance varie très considérablement avec la température de cette colonne qui est pratiquement infinie lorsque le gaz est froid, la persistance de l'arc dépend de l'obstacle que les électrodes éprouvent à se refroidir. Il est impossible, pour cette raison, de maintenir l'arc avec un courant alternatif à faible fréquence; avec un courant pratiquement continu, il est facile de maintenir l'arc, car la colonne d'air a toujours une température élevée et une faible résistance.

Plus les fréquences sont rapides et plus le temps est petit pendant lequel l'arc peut se refroidir et augmenter de résistance.

Avec une fréquence de 10,000 alternances par seconde, ou plus, l'arc n'éprouve que des variations excessivement petites de température comme les vagues sur la surface d'une mer profonde. L'échauffement est pratiquement continu, et l'arc se comporte comme s'il était produit par un courant continu, avec l'exception toutefois que l'arc ne s'établit pas aussi facilement et que les électrodes s'usent également; cependant quelques irrégularités ont été observées par l'auteur.

L'autre cause dont il a été question plus haut, peut provenir de la tendance qu'une machine à alternances aussi rapides possède à maintenir un courant constant.

Lorsque la longueur de l'arc augmente, la force électromotrice augmente en proportion, et l'arc paraît être plus persistant qu'il n'est en réalité.

Une machine de ce genre est parfaitement apte à maintenir un courant constant, mais ne convient pas pour maintenir constante la force électromotrice. Dans certains types de ces machines, on arrive presque sans le vouloir à obtenir un courant constant. Lorsqu'on augmente considérablement le nombre de pôles, on a réellement affaire à un grand nombre de petites machines; d'un autre côté l'impédance de l'armature est augmentée dans des proportions énormes par la rapidité des alternances.

D'un autre côté, les pertes magnétiques sont facilitées; s'il y a trois ou quatre cents pôles alternés, les dérivations magnétiques sont si considérables que l'effet revient à relier les deux pôles d'une machine bipolaire à l'aide d'une pièce de fer. Ce désavantage peut être atténué en employant un champ de même polarité, mais alors on rencontre des difficultés d'une autre nature. Ces causes diverses contribuent à maintenir un courant constant dans l'armature.

Faisons remarquer, par rapport à ceci, que même actuellement, des ingénieurs sont étonnés de la manière dont se conduisent des machines à courant constant, de même qu'ils étaient étonnés, il y a quelques années, de voir fonctionner une machine qui maintînt constante la différence de potentiel entre deux conducteurs. On obtient ces deux résultats d'une façon aussi facile dans un cas que dans l'autre.

Il suffit de se rappeler que dans un appareil d'induction quelconque, s'il s'agit d'obtenir un potentiel constant, il faut que l'induction du circuit secondaire « armature » suive le plus près possible le circuit primaire « excitateur », tandis que dans un appareil devant maintenir le courant constant, il faut réaliser des conditions opposées. De plus, dans le premier cas, l'opposition à la circulation du courant dans le circuit induit doit

être aussi faible que possible, tandis qu'elle doit être très considérable dans le second cas.

On peut causer de plusieurs manières une opposition au passage du courant, soit par des résistances ordinaires, soit par la self-induction.

On peut donner au circuit induit d'une dynamo ou d'un transformateur une résistance si considérable qu'un courant presque constant est maintenu dans des appareils dont la résistance est relativement faible; mais une si haute résistance n'est pas pratique à cause de la grande perte d'énergie; il n'en est pas de même pour la self-induction, car, dans ce cas, on n'obtient pas nécessairement une perte d'énergie; il faut donc employer la self-induction et non la résistance.

Il existe une circonstance qui favorise l'application de ce principe; c'est qu'une self-induction très considérable peut être réalisée facilement en entourant une longueur comparativement faible de fil, plus ou moins complètement, par du fer.

De plus, on peut augmenter cet effet par la rapidité des alternances.

Ainsi, pour obtenir un courant constant, il faut réaliser les conditions suivantes :

Faibles communications magnétiques entre les circuits inducteur et induit, grande self-induction, avec faible résistance, et alternances très rapides.

Pour obtenir un potentiel constant, il faut au contraire : communications magnétiques intimes entre les circuits, courant inducteur très stable, et, si possible, pas de réaction.

Si ces dernières conditions pouvaient être réalisées complètement, la puissance d'une machine à potentiel constant surpasserait plusieurs fois celle d'une machine établie pour fournir un courant constant.

Malheureusement, une machine de ce genre serait de peu de valeur dans la pratique, par suite de sa faible force électromotrice et des difficultés provenant de la prise du courant.

Les constructeurs de machines à courant continu destinées à l'éclairage par l'arc ont reconnu ces desiderata des machines à courant constant.

Leurs dynamos à arc possèdent des champs magnétiques à faible intensité. Il y a de grandes armatures avec une grande longueur de fil de cuivre et peu de sections, afin de produire une grande variation dans l'intensité du courant pour faire intervenir la self-induction.

Ces machines peuvent maintenir, dans les li-

mites considérables de variation de la résistance extérieure, un courant pratiquement constant.

La puissance est naturellement relativement faible, et souvent, pour ne pas trop diminuer cette puissance, on se sert d'une disposition pour compenser des variations exceptionnelles.

L'ondulation du courant est presque essentielle pour le succès d'un système d'éclairage à arc, car on introduit ainsi dans le circuit un élément égalisateur qui prend la place de grandes résistances sans causer de grandes pertes d'énergie, et ce qui est plus important encore, on peut employer ainsi des lampes à mécanisme simple qui avec un courant d'un certain nombre d'alternances par seconde convenant à chaque lampe en particulier, fera le réglage mieux que les meilleures lampes à mouvement d'horlogerie. L'auteur a fait cette découverte, mais plusieurs années trop tard.

Des électriciens anglais ont prétendu que, dans une machine à courant constant, ou dans un transformateur, le réglage est obtenu par la variation de la phase du courant secondaire. On constate facilement ce que cette manière a d'erroné lorsque, au lieu de lampes, on emploie des appareils possédant de la self-induction et de la capacité électro-statique, ou de la self-induction et de la résistance, c'est-à-dire des éléments retardateurs ou accélérateurs dans des proportions telles que la phase du courant secondaire n'en soit pas matériellement affectée.

On peut insérer ou enlever un nombre quelconque de ces appareils sans déranger le réglage, le courant étant maintenu constant pendant que la force électromotrice varie avec le nombre des appareils employés.

La variation de phases du courant secondaire résulte simplement des variations des résistances, et, bien que la réaction secondaire soit toujours plus ou moins importante, la cause réelle du réglage provient de l'existence des conditions énumérées plus haut.

Il faut constater cependant que dans les dynamos les remarques précédentes doivent se restreindre au cas où la machine est excitatrice indépendante.

Lorsque l'excitation est obtenue par la commutation du courant de l'armature, la position fixe des balais donne une importance considérable à une variation de la position de la ligne neutre; l'auteur ajoute qu'il a été le premier à obtenir un réglage convenable de ces dynamos en adaptant, à l'aide d'un troisième balai, une connexion sous forme de pont entre un point du circuit extérieur et le commutateur.

L'armature et l'intensité du champ magnétique ayant des proportions respectives convenables, et les balais étant placés dans des positions déterminées, on obtient un courant constant ou un potentiel constant en partant de la ligne de commutation avec des charges variables.

L'emploi du condensateur donne lieu à des résultats particulièrement intéressants lorsqu'on emploie des machines à alternances très rapides. Il est facile d'augmenter la force électromotrice d'une telle machine à quatre ou cinq fois sa valeur normale, en reliant simplement un conducteur au circuit; M. Tesla a constamment employé le condensateur comme moyen de réglage, comme cela a été suggéré par M. Blakesley dans son ouvrage sur les courants alternatifs et dans lequel cet auteur résout les problèmes usuels avec la plus grande simplicité et clarté. L'emploi d'alternances très rapides permet d'employer de faibles capacités et rend les expériences faciles.

Quoique dans la plupart des cas, on puisse prédire les résultats, les phénomènes n'en sont pas moins curieux. Il suffit de citer l'expérience suivante effectuée à l'aide d'une machine donnant 20 000 alternances par seconde. On avait relié aux bornes de cette machine deux fils nus de deux millimètres de diamètre et d'une longueur de 6 mètres, les deux fils étant très rapprochés l'un de l'autre et reliés à l'autre extrémité à un condensateur. Un petit transformateur naturellement sans noyau de fer était employé pour pouvoir observer la tension à l'aide d'un voltmètre de Cardew. Aux bornes du condensateur, la force électromotrice était d'environ 120 volts, et de là elle tombait graduellement jusqu'aux bornes de la dynamo où la tension n'était plus que de 65 volts. Le condensateur agissait donc virtuellement comme générateur et le fil de ligne et l'armature de la dynamo comme de simples résistances. L'auteur croyait d'abord avoir affaire à un effet de résonnance, mais il ne lui fut pas possible d'augmenter l'effet par une variation graduelle de la capacité ou de la vitesse du moteur; il n'a pas pu obtenir un effet de résonnance pure.

Avec des alternances aussi rapides les effets du condensateur ont une importance énorme, et le condensateur devient un appareil capable de transmettre une énergie considérable.

Des machines à alternances très rapides, peuvent, d'après M. Tesla, être employées avec succès lorsqu'on ne s'occupe pas de la transmission à très grande distance.

Lorsqu'il s'agit d'actionner des moteurs, les alternances très rapides ne paraissent guère convenir.

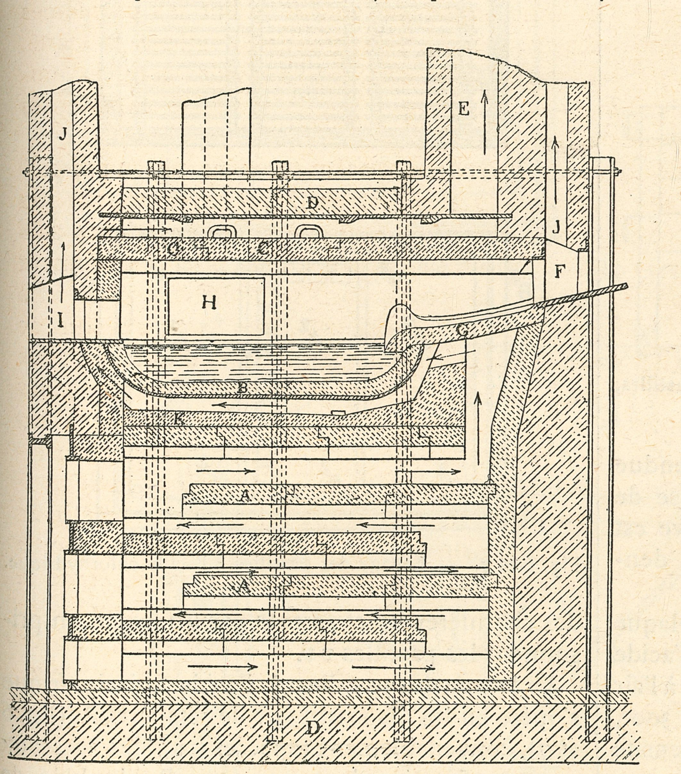
M. Tesla entre ensuite dans quelques considérations sur l'« effet Ferranti » observé sur les conducteurs concentriques qui relient l'usine de Deptford à Londres; il le rattache aux phénomènes dont il vient d'être question pour les condensateurs qui changent 1° la phase et 2° l'intensité des courants. Pour ce qui est du changement de phase, notamment, l'effet du condensateur est d'accélérer le courant secondaire à Deptford et de retarder le primaire à Londres; le premier effet diminue la self-induction au circuit primaire à Deptford et correspond à une diminution de la force électromotrice à la dynamo.

M. Tesla fait d'ailleurs ressortir tout ce qu'il y a de contradictoire dans les opinions avancées jusqu'à présent à cet égard; toutes doivent être considérées comme de simples conjectures en attendant les données numériques précises du phénomène.

C. B.

Fabrication des plaques d'accumulateurs Timmis et Laurent-Cély (1890).

L'objet poursuivi par ces inventeurs est de construire des plaques beaucoup plus légères à capacités égales; d'après eux, la densité de leurs



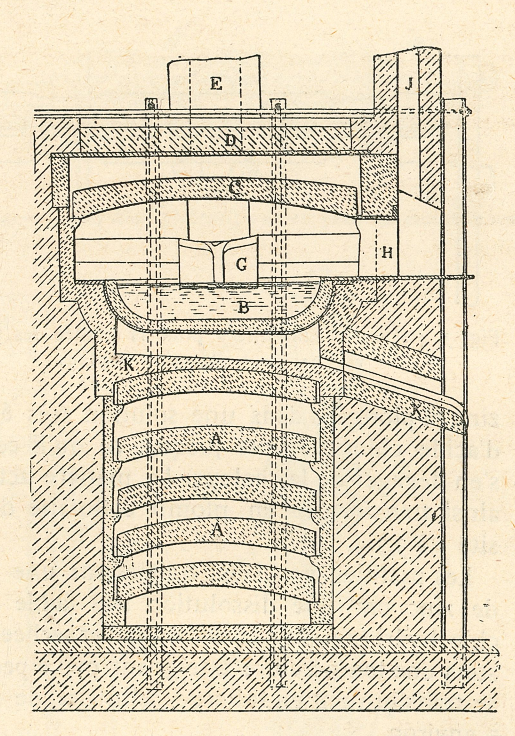


Fig. 1 et 2. — Timmis et Laurent-Cély. Four de fusion.

plaques positives, en peroxyde de plomb alvéolé, ne serait que de 4,5 à 5 environ au lieu de 7 à 9, et celles des plaques négatives, en plomb cellulaire, de 3 à 3,5 au lieu de 6 à 8, densité habituelle du plomb spongieux; enfin, la capacité de ces accumulateurs atteindrait 35 à 40 ampères-heures par kilogramme.

Pour fabriquer ces plaques négatives, on fond à 550° environ un mélange de 75 o/o de chlorure de plomb et de 25 o/o de zinc que l'on coule sur